

# **REABILITAÇÃO DE CONDUTAS SEM ABERTURA DE VALA – APLICAÇÃO A UM CASO**

**FERNANDO PEDRO FERREIRA PINTO**

Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel de Oliveira Piqueiro

JULHO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



[miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À memória do meu Pai

*Quem quer esclarecer as suas dúvidas primeiro tem que confessá-las*

Anónimo



## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento do presente trabalho é o resultado do esforço e colaboração de várias pessoas, as quais o autor não poderia deixar de manifestar os seus sinceros agradecimentos e de reconhecer que a toda ajuda foi da maior importância.

Ao orientador do projecto, o Professor Doutor Francisco Piqueiro, um especial obrigado pela disponibilidade, orientação e paciência constantes ao longo de todo o processo. As ideias e opiniões partilhadas foram fundamentais para a realização do trabalho.

À empresa Camilo de Sousa Mota & Filhos S.A., em especial ao Engenheiro Vitor Ribeiro pela oportunidade concedida, e aos colegas António Silva, António Cordeiro, António Henriques, António Rodrigues, Luis Oliveira, Paulo Antunes, Sergio Rocha, entre outros, por todo o apoio profissional e partilha de experiências e ensinamentos.

À EPAL S.A., na pessoa do Engenheiro Francisco Braga, pela troca de opiniões, conselhos e conhecimentos.

Ao meu grande amigo Bruno Ferreira, um muito obrigado pela amizade e apoio incondicional.

Aos meus colegas e amigos de faculdade André Domingues, Gonçalo Correia, João Laranjeira, Nuno Ferreira, entre outros, um agradecimento pelo apoio, troca de opiniões e bons momentos que sempre proporcionaram ao longo deste tempo.

Um forte agradecimento à minha namorada Maria, por todo o carinho, paciência e amor demonstrados, que foram fundamentais durante a elaboração do trabalho.

Por fim, um especial agradecimento a toda a minha família, principalmente à minha mãe, irmãos, tia e avós, por sempre acreditarem em mim, e por tornarem este trabalho possível.



## **RESUMO**

Nos dias correntes o sector da reabilitação de infra-estruturas afirma-se como uma alternativa viável à construção nova. A reabilitação não passa só pela intervenção no edificado, mas também na aplicação desta em intervenções de renovação de infra-estruturas enterradas de abastecimento e drenagem de água. Na actual situação nacional, os esforços neste mercado estão a ser redireccionados para a manutenção dos sistemas em detrimento da construção de novas redes.

As tecnologias de reabilitação de tubagens sem recurso à abertura de vala aproveitam o espaço criado pela tubagem existente reabilitando o sistema por aplicação de um novo revestimento interior ou pela destruição da tubagem existente e instalação de uma nova no espaço desta, necessitando apenas de dois locais de acesso nas extremidades do troço a intervir para que se possa executar os trabalhos.

Com este trabalho pretende-se expor estas técnicas e todo o processo anexo a estas, para então se compreender qual o papel que estas poderão vir a desempenhar no emergente mercado da reabilitação e manutenção.

Neste contexto, apresenta-se o estudo de caso da execução de uma empreitada onde se prevê a utilização de uma técnica de substituição de condutas sem abertura de vala para renovação de uma rede de abastecimento de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reabilitação; Tecnologias Sem Abertura de Valas, Sistemas de Abastecimento e Drenagem de Água,





## **ABSTRACT**

In the days running the sector of rehabilitation of infrastructure it is stated as a viable alternative to new construction. Rehabilitation is not only by the intervention in the building but also in implementing this intervention in the renewal of infrastructure buried supply and drainage of water. In the current national situation, efforts in this market are being redirected to the maintenance of the systems rather than building new networks.

Trenchless Technologies for rehabilitation of the pipes exploit the space created by existing piping to rehab the system by application of a new liner or for the destruction of the existing pipe and installing a new in this area, requiring only two places of access at the ends of the section to intervene so that it can perform the work.

This work aims to explain these techniques and the whole process attached to them, then to understand what role they might play in the emerging market of rehabilitation and maintenance.

In this context, it presents a study case about a contract which provides for the use of trenchless technologies to replace pipes of water supply system.

**KEYWORDS:** Rehabilitation; Trenchless Technologies, Water Supply and Sewer Systems.



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iii
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....	1
1.2. ÂMBITO, OBJECTIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DO TRABALHO .....	3
<b>2 MACRO SELECÇÃO</b> .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS TUBAGENS – TÉCNICAS DE INSPECÇÃO .....	8
2.2.1. TÉCNICAS DE INSPECÇÃO EXTERNA .....	8
2.2.1.1. Inspecção Visual .....	8
2.2.1.2. Medição da Extensão e Profundidade de Fendas (“Pith Depth Measurement”) .....	8
2.2.1.3. Ultra-Sons .....	8
2.2.1.4. Colheita de Micro-Amostras (“Coupon removal”) .....	9
2.2.1.5. Colheita de Amostras de Tubo .....	9
2.2.2. TÉCNICAS DE INSPECÇÃO INTERNA .....	9
2.2.2.1. Inspecção Visual .....	9
2.2.2.2. Inspecção por Filmagem em Circuito Fechado (“CCTV”) .....	9
2.2.2.3. Sonar .....	10
2.2.2.4. Métodos a Laser .....	10
2.2.2.5. Técnicas de Monitorização Acústica .....	10
2.2.3. TÉCNICAS AVANÇADAS E EXPERIMENTAIS .....	10
2.2.3.1. Métodos Electromagnéticos .....	10
2.2.3.2. Resistência à Polarização Linear .....	10
<b>2.3. TUBOS E RESPECTIVOS PROBLEMAS</b> .....	11
2.3.1. TUBOS DE MATERIAIS TRADICIONAIS .....	12
2.3.1.1. Tubos à base de Cimento .....	12
2.3.1.2. Tubos à base de Argila – Grés Cerâmico .....	14
2.3.1.3. Canais em Alvenaria .....	14
2.3.2. TUBOS METÁLICOS .....	14
2.3.2.1. Ferro Fundido .....	14
2.3.2.2. Aço .....	15

2.3.2.3. Ferro Fundido Dúctil .....	15
2.3.3. TUBOS TERMO-PLÁSTICOS .....	16
2.3.3.1. Poli Cloreto de Vinilo (PVC) .....	16
2.3.3.2. Polietileno (PE) .....	16
2.3.4. TUBOS À BASE DE RESINAS TERMOENDURECÍVEIS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO .....	17
<b>3 SELECÇÃO DO MÉTODO DE REABILITAÇÃO E TRABALHOS PREPARATÓRIOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. APROXIMAÇÃO LÓGICA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. ÁRVORE DE DECISÃO EM REDES COM ESCOAMENTO SOB PRESSÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>20</b>
3.3.1 FACTORES SECUNDÁRIOS DE DECISÃO .....	21
<b>3.4. ÁRVORE DE DECISÃO EM REDES COM ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE DE DRENAGEM DE ÁGUA - EXEMPLO .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. TRABALHOS PREPARATÓRIOS .....</b>	<b>22</b>
3.5.1. INTRODUÇÃO .....	22
3.5.2. TRABALHOS LOCAIS (“SITE SURVEY”).....	22
3.5.2.1. Sondagens.....	23
3.5.2.2. Rastreo e Mapeamento (“Tracing and Mapping”) .....	24
3.5.2.3. Geo-Radar (“Ground Penetrating Radar”).....	24
3.5.2.4. Inspeção do Interior das Infra-Estruturas .....	25
3.5.3. LIMPEZA E ACONDICIONAMENTO DAS INFRA-ESTRUTURAS.....	26
3.5.3.1. Limpeza a Alta Pressão.....	26
3.5.3.2. Limpeza Mecânica.....	26
3.5.3.3. Limpeza com Dispositivos “PIG” .....	27
3.5.4. REDE PROVISÓRIA .....	28
3.5.4.1. By-pass e Sistema de Bombagem Para Redes de Drenagem .....	28
3.5.4.2. Rede Provisória de Abastecimento Domiciliário de Água .....	29
3.5.5. Acessibilidade e Segurança .....	30
<b>4 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. REVESTIMENTOS APLICADOS “IN SITU” .....</b>	<b>31</b>
4.2.1. REVESTIMENTO COM ARGAMASSA DE CIMENTO (“CEMENT MORTAR LINING”).....	32
4.2.2. REVESTIMENTO COM RESINA EPOXY .....	34
<b>4.3. ENCAMISAMENTO COM CURA NO LOCAL (“CURED IN PLACE PIPE - CIPP”) .....</b>	<b>35</b>

4.3.1. INTRODUÇÃO .....	35
4.3.2. APLICAÇÃO .....	38
4.3.3. EXECUÇÃO - GERENALIDADES .....	39
4.3.4. SISTEMAS DE DRENAGEM - ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE .....	40
4.3.4.1. Cura Térmica.....	40
4.3.4.2. Cura com Luz Ultra-Violeta .....	42
4.3.5.3. Cura Ambiente .....	43
4.3.5. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – ESCOAMENTO SOB PRESSÃO .....	43
<b>4.4. ENTUBAMENTO (“SLIPLINING”) .....</b>	<b>44</b>
4.4.1. INTRODUÇÃO .....	44
4.4.2. APLICAÇÃO.....	45
4.4.3. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES .....	46
4.4.4. TUBAGEM PARA ENTUBAMENTO.....	46
4.4.5. INSTALAÇÃO DA TUBAGEM.....	47
4.4.6. PREENCHIMENTO DO ESPAÇO ANELAR – ARGAMASSA DE ENCHIMENTO .....	49
4.4.7. DERIVAÇÕES E LIGAÇÕES LATERAIS .....	50
<b>4.5. REVESTIMENTO POR INSERÇÃO APERTADA DE TUBAGEM DEFORMADA (“CLOSE FIT THERMO PLASTIC LINING”).....</b>	<b>50</b>
4.5.1. INTRODUÇÃO .....	50
4.5.2. APLICAÇÃO.....	51
4.5.3. PRINCIPIO E CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS .....	52
4.5.4. REDUÇÃO SIMÉTRICA.....	52
4.5.5. REDUÇÃO POR DOBRAGEM .....	53
<b>4.6. REVESTIMENTO EM ESPIRAL (“SPIRAL WINDING LINING”).....</b>	<b>55</b>
4.6.1. INTRODUÇÃO .....	55
4.6.2. INSTALAÇÃO MECÂNICA.....	56
4.6.2.1. Instalação Mecânica Apertada.....	58
4.6.3. INSTALAÇÃO MANUAL.....	59
<b>4.7. REVESTIMENTOS SECCIONAIS .....</b>	<b>60</b>
4.7.1. INTRODUÇÃO .....	60
4.7.2. MATERIAL.....	60
4.7.3. EQUIPAMENTOS .....	62
4.7.4. LIGAÇÕES E CURVAS .....	62
<b>5 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DESTRUTIVAS.....</b>	<b>63</b>
<b>5.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>63</b>

<b>5.2. TÉCNICAS DE INSTALAÇÃO DE CONDUTAS SEM RECURSO À ABERTURA DE VALA .....</b>	<b>64</b>
5.2.1. PERFURAÇÃO POR PERCUSSÃO NÃO DIRIGIDA (“IMPACT MOLING”) .....	64
5.2.2. PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRIGIDA (“HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING”) .....	64
5.2.3. CRAVAÇÃO DE TUBAGENS (“PIPE JACKING”) .....	65
5.2.4. PERFURAÇÃO PNEUMÁTICA E MICRO-TÚNEIS (“THRUST AUGER BORING” E “MICROTUNNELLING”) .....	65
<b>5.3. REBENTAMENTO (“PIPE BURSTING”) .....</b>	<b>67</b>
5.3.1 INTRODUÇÃO .....	67
5.3.2. REBENTAMENTO PNEUMÁTICO (“PNEUMATIC PIPE BURSTING”) .....	68
5.3.3. REBENTAMENTO HIDRÁULICO (“HYDRAULIC PIPE BURSTING”) .....	69
5.3.4. REBENTAMENTO ESTÁTICO (“HYDRAULIC ROD BURSTING” OU “STATIC PULL”) .....	70
<b>5.4. FRACCIONAMENTO DE TUBAGEM (“PIPE SPLITTING”) .....</b>	<b>70</b>
<b>5.5. DESTRUIÇÃO DE TUBAGEM (“PIPE EATING”) .....</b>	<b>71</b>
<b>5.6. FRESAGEM DE TUBAGEM (“PIPE REAMING”) .....</b>	<b>72</b>
<b>5.7. EXTRACÇÃO E EJECCÃO DE TUBAGENS (“PIPE EJECTION/EXTRACTION”) .....</b>	<b>72</b>
<b>6 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>75</b>
6.1. INTRODUÇÃO .....	75
6.2. DESCRIÇÃO GERAL .....	75
6.3. SELECÇÃO DA TÉCNICA DE REABILITAÇÃO .....	77
6.4. TROÇOS POSSÍVEIS DE REBENTAMENTO .....	77
6.5. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO .....	78
6.6. TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURAS .....	80
6.7. PROCEDIMENTO .....	80
6.8. REDE PROVISÓRIA .....	81
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
7.1 CONCLUSÕES GERAIS .....	83
7.2. DIFICULDADES SENTIDAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	84
7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	84
REFERÊNCIAS .....	87
ANEXOS .....	89

## Índice de figuras

Fig. 1 – Escavação por Vácuo .....	23
Fig. 2 – Equipamento electromagnético [4] .....	24
Fig. 3 – Geo-radar [5].....	25
Fig. 4 – Exemplo de Raspadores [3] .....	27
Fig. 5 – Exemplo de dispositivos tipo “PIG” [3] .....	28
Fig. 6 – Equipamento de Bombagem [3] .....	29
Fig. 7 – Dispositivo de aplicação de argamassa de cimento [7].....	33
Fig. 8 – Esquema de pulverização de argamassa de cimento [6] .....	33
Fig. 9 – Conduta antes de reabilitação [7] .....	33
Fig. 10 – Conduta após revestimento com argamassa de cimento [7] .....	34
Fig. 11 –Espigão pulverizador de resina epoxy [8].....	35
Fig. 12 - Esquema de pulverização de resina epoxy [6].....	35
Fig. 13 – Tubo em avançado estado de degradação [6] .....	37
Fig. 14 – Início da inversão [6] .....	40
Fig. 15 – Fim da Inversão [6] .....	41
Fig. 16 – Fonte de Luz Ultravioleta [6].....	42
Fig. 17 – Soldadura topo a topo .....	47
Fig. 18 – Pormenor da ligação da soldadura topo a topo .....	47
Fig. 19- Cabeças de Arrasto [9] .....	48
Fig. 20 – Argolas de Arrasto (“Towing Socks”) [9] .....	48
Fig. 21 – Conectores (“Fusível”) [9] .....	49
Fig. 22 – Entubamento [10].....	49
Fig. 23 – Equipamento de Redução Simétrica [6].....	53
Fig. 24 – Tubagem dobrada em forma de “C” [6].....	54
Fig. 25 – Tubagem de PVC.....	54
Fig. 26 – Expansão da Tubagem em PVC [6].....	55
Fig. 27 - Bobina em PVC [11] .....	56
Fig. 28 - Corte Transversal da Banda de Revestimento em PVC [11].....	56
Fig. 29 - Equipamento de Inserção [12].....	57
Fig. 30 - Equipamento de Inserção com Avanço (dentro da tubagem) .....	57
Fig. 31 - Equipamento de Inserção por avanço (fim da tubagem) .....	57
Fig. 32 - Instalação Mecânica em Espiral Apertada [6].....	58
Fig. 33 - Revestimento em Espiral com Instalação Manual [13] .....	59
Fig. 34 - Aspecto Final do Revestimento em Espiral [13] .....	59
Fig. 35 - Troços de Tubagem de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro .....	61
Fig. 36 - Instalação.....	61
Fig. 37 - Preenchimento do Espaço Anelar .....	61
Fig. 38 - Aspecto após Intervenção .....	62
Fig. 39 - Perfuração por Percussão não Dirigida [14].....	64
Fig. 40 - Perfuração Horizontal Dirigida [14].....	65
Fig. 41 - Cravação de Tubagens [14] .....	65
Fig. 42 - Perfuração Pneumática [15].....	66
Fig. 43 - Esquema de Execução de Micro-Túneis [16] .....	66
Fig. 44 - Rebentamento de Tubagens (Solução Inicial) [17] .....	67

Fig. 45 - Cabeça de Rebentamento Pneumática [18].....	68
Fig. 46 - Exemplos de Cabeças de Rebentamento Pneumático [17] .....	68
Fig. 47 - Cabeça de Rebentamento Expandida [18] .....	69
Fig. 48 - Cabeça de Rebentamento Contraída [18].....	69
Fig. 49 - Rebentamento Estático [14] .....	70
Fig. 50 - Pormenor do Rebentamento Estático [18] .....	70
Fig. 51 - "Divisor" [18].....	71
Fig. 52 - Equipamento de "Pipe Eating" [17].....	71
Fig. 53 - Fresagem de Tubagens [18] .....	72
Fig. 54 - Ejecção de Tubagem [17] .....	73
Fig. 55 - Extracção de Tubagens [18].....	73
Fig. 56 - Planta de Localização .....	75
Fig. 57 – Recobrimento .....	78
Fig. 58 – Lira .....	81



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Informação das Redes .....	6
Tabela 2 - Técnicas de Inspeção de Tubagens .....	8
Tabela 3 - Material de Tubagens (Gama de Diâmetros, Período de Instalação e Tipo de Escoamento).....	11
Tabela 4 - Modos de Falhas dos Vários Tipos de Tubagens.....	12
Tabela 5 - Sistemas de Revestimentos por Cura no Local .....	36
Tabela 6 - Aplicação de Revestimentos por Cura no Local .....	38
Tabela 7 - Aplicação do Entubamento .....	45
Tabela 8 – Aplicação de Tubagens por Inserção Apertada .....	51
Tabela 9 - Métodos de Deformação de Tubagens.....	52
Tabela 10 - Técnicas de Reabilitação Destrutivas.....	63
Tabela 11 - Tubagens Existentes e a Instalar .....	76
Tabela 12 - Recobrimento mínimo e Força de tracção .....	79



## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Os sistemas de abastecimento de água são infra-estruturas de suporte de um serviço básico para a saúde pública que consiste no abastecimento de água com qualidade para consumo humano em quantidade e pressão às populações. São construídos e operados de forma a transportar, a armazenar, a tratar e a distribuir água às populações. A estas funções correspondem um conjunto de componentes (e.g., captações, sistema adutor, reservatórios, estações elevatórias, redes de distribuição), cada uma das quais com diferentes órgãos constituídos por obras de construção civil, equipamentos eléctricos e electromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controlo.

Desde sempre que, qualquer aglomerado populacional, teve necessidade de controlar e/ou racionar o consumo de água potável. Assim sendo, ao longo da história da civilização humana consegue-se encontrar prova de aquedutos, termas, reservatórios, etc., das mais variadas formas e dos mais variados materiais. Com o passar do tempo, e continuada exploração dos sistemas, decorre a necessidade de manter em bom estado de funcionamento os sistemas de abastecimento de água.

O envelhecimento dos Sistemas de abastecimento é natural e inevitável e, à medida que estes componentes atingem o final da vida útil, o número de fugas tende a aumentar, as rupturas e interrupções do abastecimento tornam-se cada vez mais frequentes, e os custos de manutenção do sistema aumentam. Em consequência, as entidades gestoras são confrontadas com a necessidade de reparar, reabilitar ou substituir os diferentes componentes do sistema. Questões como “o que”, “onde”, “quando” e “como” são questões frequentes que se colocam às entidades gestoras.

Por defeito, o conceito de reabilitação está associado ao sector da construção civil, particularmente à intervenção em edifícios. Contudo começa a emergir no panorama nacional, técnicas de reabilitação de infra-estruturas enterradas em detrimento das intervenções tradicionais de completa substituição de tubagem através de abertura de vala. Estas mesmas técnicas são conhecidas como técnicas de reabilitação sem abertura de vala (“Trenchless Technologies” ou “No-dig Technologies”).

As tecnologias de reabilitação, bem como, as tecnologias de instalação de conduitas sem abertura de vala são práticas usuais em países estrangeiros que têm actualmente na manutenção das infra-estruturas o seu grande desafio. No caso nacional a tendência é semelhante, dado que a grande parte dos sistemas está já construído ou será concluído a curto ou médio prazo.

Segundo o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), que tem por fundamento ser um documento orientador no domínio das infra-estruturas urbanas de abastecimento de água e saneamento de águas residuais, prevê que até 2013 se atinja uma

taxa de cobertura de 95% para o abastecimento de água e 90% para o saneamento de águas residuais [1].

A situação em Portugal seguirá a tendência já existente em outros países, obrigando que os esforços antes exigidos para uma equidade e abrangência de serviço, sejam agora canalizados para a manutenção adequada, por meios sustentáveis que minimizem os transtornos, tanto aos clientes como à sociedade em geral. E neste enquadramento a reabilitação de condutas sem abertura de valas pode ter um papel importante.

Estas técnicas consistem no aproveitamento do espaço já criado por uma tubagem existente, reabilitando o sistema por aplicação de um novo revestimento interior (técnicas não destrutivas) ou pela destruição da tubagem existente e instalando uma nova no lugar desta (técnicas destrutivas). Por norma, os trabalhos são executados recorrendo a equipamentos que percorrem a tubagem existente, necessitando somente de dois locais de acesso nas extremidades minimizando as escavações e todos os transtornos que isto pode originar, tais como, cortes de circulação automóvel e pedonal, quantidade de poeiras no ar, degradação do aspecto visual e estrutural dos pavimentos existentes, quantidade de materiais de enchimento necessário, etc.

Neste contexto, o presente trabalho trata de uma abordagem generalizada a estes métodos, descrevendo em particular cada um destes, expondo as suas aplicações possíveis, bem como as suas limitações e cuidados a ter na execução desta.

De notar que a nomenclatura utilizada não é consensual, assim como a tradução não poderá ser tida como o termo correcto. Por tal, sempre que se traduz algum termo, apresenta-se a sua forma original para que possa ser de fácil compreensão ou corrija qualquer termo que possa ser ambíguo ou desadequado.

## **1.2. ÂMBITO, OBJECTIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO**

A motivação inicial da realização do presente trabalho consiste na constatação da inexistência ou reduzida informação acerca das técnicas de reabilitação sem abertura de valas, tratada para o caso nacional. Para além disso, este trabalho pretende reunir informação dispersa por publicações de livros e revistas, em sítios da internet, encontros sobre o tema, cruzando várias fontes para melhor compreender o funcionamento e caracterizar estas técnicas.

É reconhecido que o planeamento e concepção são etapas fundamentais para que uma intervenção seja bem sucedida e, por tal, o presente trabalho tem por objectivo apresentar o processo de reabilitação na íntegra. Começando pela selecção da rede a intervir, passando pelos problemas dos materiais, técnicas de inspecção, selecção da(s) técnica(s) possível(eis) e trabalhos preparatórios, finalizando com a descrição de cada uma das técnicas.

Para além disso será ainda abordado um caso de estudo, que até à data presente está ainda em preparação, estando já definida qual a técnica a utilizar, bem como, as técnicas para levantamento de infra-estruturas existentes, modo de execução dos trabalhos e possíveis situações desfavoráveis ou limitativas. O caso de estudo ajudará a compreender e a validar a informação anteriormente apresentada.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DO TRABALHO

O presente trabalho inicia-se com um capítulo introdutório, onde se define os pressupostos iniciais deste, o âmbito de análise, a metodologia de actuação e os objectivos a alcançar. Para além deste capítulo a tese está organizada noutros 6 capítulos.

O capítulo 2 trata da macro selecção, isto é, do estabelecimento de zonas, bem como a prioridade da intervenção. Inicia-se com uma ligeira abordagem aos vários tipos de informação e forma de obtenção. De seguida são descritas as várias técnicas para avaliação do estado das tubagens, desde a mais básica inspecção visual até técnicas altamente sofisticadas, terminando com uma descrição dos materiais utilizados nas tubagens, bem como os seus problemas mais usuais.

No capítulo 3, aborda-se a micro selecção, isto é, a selecção da técnica de reabilitação mais adequada para uma situação. Por norma, esta é realizada com auxílio de um fluxograma, habitualmente designado por “árvore de decisão”. Para além disso são ainda abordados os trabalhos de inspecção e avaliação dos locais de execução dos trabalhos, bem como, os trabalhos de fornecimento ou derivação de serviços provisório e condições de segurança.

No capítulo 4, abordam-se as várias técnicas de reabilitação que aproveitam o material já existente, melhorando, por vezes, a sua condição estrutural, ou somente a sua capacidade de transporte. Estas técnicas consistem basicamente em revestimentos interiores aplicados de várias formas às paredes da tubagem existente. É descrito o seu modo de aplicação bem como, a gama de aplicação, vantagens e inconvenientes.

O capítulo 5 inicia-se com a referência às técnicas de instalação de tubagens sem abertura de vala que estão na génese das técnicas de reabilitação. De seguida são descritas todas as técnicas de reabilitação destrutivas, onde é abordado o seu modo de execução, gama de aplicação e condições favoráveis e desfavoráveis de aplicação.

No capítulo 6 apresenta-se estudo de caso até ao seu estado actual. Para além de já estar estabelecido todo o projecto relativamente a material e diâmetros a utilizar, bem como, os acessórios a instalar, está já definida a técnica de reabilitação que será utilizada em alguns troços da rede. Neste capítulo pretende-se validar todos as fases/etapas relacionados com todo o processo descritos nos capítulos anteriores.

Por fim, o capítulo 7 constitui a fase final do trabalho e corresponde à enumeração das principais conclusões obtidas quer da recolha e tratamento de informação, quer do estudo de caso. É igualmente apresentado um conjunto de sugestões para desenvolvimentos futuros que a presente análise suscita.



# 2

## MACRO SELECÇÃO

### 2.1. INTRODUÇÃO

A grande variedade de serviços enterrados e o desenvolvimento das novas redes de telecomunicações originam um maior desafio na reabilitação das envelhecidas infra-estruturas enterradas existentes. Para enfrentar esse desafio requer-se informação baseada nas condutas existentes, que deverão ser o mais preciso, completas e actualizadas possíveis [2].

A informação do estado das infra-estruturas pode ser obtida de duas formas:

Indirectamente – baseado na evolução do histórico dos dados disponíveis, tais como:

- Registos de falhas
- Registos da manutenção
- Reclamações de clientes
- Testes do sistema

Directamente – baseado no uso de inspecções e testes para obter nova informação

Para se obter a informação necessária para se poder optar pela decisão acertada, deve-se conjugar estas duas formas de obtenção de informação. Contudo, existem autores que argumentam que a informação adicional obtida a partir das demais tecnologias de inspecção disponíveis não compensa o esforço financeiro que estas acarretam.

Em grande parte dos casos, a informação obtida a partir da análise dos registos é considerada suficiente para se encontrar a decisão sem se recorrer a métodos adicionais de inspecção

A Tabela 1 sumariza a informação necessária de apoio à decisão de reabilitar ou renovar, bem como, as fontes directas e indirectas disponíveis para cada item.

Uma forma mais objectiva e precisa é a análise estatística, de forma a correlacionar os registos dos problemas das condutas com as suas características, tais como, o tipo de material e a idade, a presença de agentes químicos (se aplicável), o tipo de solo e condições de operação. Para uma melhor análise, esta deve estar suportada num sistema de informação geográfica que permite associar os problemas e características da tubagem em secções no mapa da rede. Numa primeira aproximação permite identificar subpopulações de tubos com o maior potencial de ruptura, que serão prioritários a reabilitar.

Existem várias referências disponíveis para esta aproximação e um número de modelos informáticos que têm sido desenvolvidos para o auxílio a esta análise. Exemplos disso são:

- Mapa Avaliativo e Rede de Falhas (“Asset Map and Fail net”) - França
- KANEW an UtilNets - Alemanha
- Centro de Investigação da Água (“WRc cluster method linked to Waterfowl”) - Reino Unido
- Programa informático de apoio à decisão de reabilitação (“Care S e Care W”) – Projecto da União Europeia em que Portugal se inclui em participação activa.

Actualmente, diversas entidades gestoras de sistemas abastecimento de água utilizam esta abordagem através de um sistema de pontuação que atribui às secções da rede com base na selecção das características descritas anteriormente permitem a ponderação de possíveis falhas ou rupturas. Assim, o conjunto de tubos a reabilitar será seleccionado a partir dessas pontuações.

Tabela 1 - Informação das Redes

Categoria	Informação	Origem /fonte de Informação	
		Informação existente	Através de investigação
Dados Básicos da tubagem	Dimensões - diâmetro exterior, diâmetro interior e espessura da parede	Desenhos existentes, especificações, documentação técnica da tubagem	Tubagem em pressão - medição directa do diâmetro exterior e espessuras através de ultra-som ou pela colheita de micro-amostras
	Tipo de material e desempenho específico	Desenhos existentes, especificações, documentação técnica da tubagem	Inspecção visual dos tubos, avaliação de amostras
	Tamanho dos tubos e tipo de juntas	Desenhos existentes, especificações, documentação técnica da tubagem	Inspecção visual
	Idade	Datas de instalação e arranque de exploração a partir de registos	
	Protecção contra a corrosão	Documentos técnicos e de exploração	Inspecção visual do exterior das tubagens, CCTV* ou inspecção visual do interior
	Acessórios de rede	Piças desenhadas existentes ou documentos de exploração e catálogos de fabricantes	CCTV* ou inspecção visual humana do interior
Geometria da rede	Localização e grau das curvas	Desenhos existentes	CCTV* ou inspecção visual do interior
	Perfis	Desenhos existentes	CCTV* ou inspecção visual do interior
	Locais de acesso	Desenhos das Caixas de visita	Inquérito para identificar locais para escavação dos poços de acesso aos tubos em pressão
Condições à superfície e enterradas	Localização e tipo de infra-estruturas enterradas	Desenhos existentes, relatórios de manutenção	Uso de Geo-radar, poços de inspecção, etc.
	Natureza do leito	Especificações das instalações, observações de equipas de manutenção	Inspecção visual nas escavações
	Natureza do solo de regularização/aterro	Especificações das instalações, observações de equipas de manutenção	Inspecção visual nas escavações
	Infra-estruturas à superfície acima da rede, p.e. estradas, edifícios, etc		Inspecção visual da envolvente da rede através de registos fotográficos, Levantamento Aéreo



Categoria	Informação	Origem /fonte de Informação	
		Informação existente	Através de investigação
Condições de exploração	Superfície livre - perfis, cargas hidrostática e cargas à superfície	Especificações originais e peças desenhadas. Registos de compra das tubagens	Verificação de alterações
	Em pressão - concepção, pressão média e máxima, possibilidade de supressões	Especificações originais e peças desenhadas. Registos de compra das tubagens	Verificação de alterações
Condicionantes estratégicas e logísticas	Necessidade de By-pass	Registos de caudais drenados	-
	Necessidade de abastecimento temporário	Esquema da rede	Modelação hidráulica de avaliação do impacto da reabilitação nas partes adjacentes da rede
	Máximo intervalo de tempo de suspensão do serviço	Política da Entidade Gestora	Análise dos requisitos dos principais utilizadores
Condição estrutural da rede de drenagem	Indicadores de desempenho	Registos de obstruções, inundações e colapso	-
	Anomalias estruturais	Levantamento dos dados de CCTV*	Novo levantamento das condições por CCTV* e medição de deformações, testes utilizando corantes e fumo
	Deformações excessivas	Levantamento dos dados de CCTV*	
	Assoreamento e presença de raízes	Registos da Manutenção	
	Condições das Caixas de visita	Registos da Manutenção	Inspecção visual
Condição hidráulica - redes de drenagem	Adequabilidade hidráulica	Registos de sobrecarga, etc	Novo regime/modelo hidráulico
	Infiltrações	Medições e estudos existentes	Estudos especializados
Condição estrutural – rede de abastecimento de água	Indicadores de desempenho	Reclamações de clientes, pressão e interrupções do serviço, dados de rupturas e fugas, registos de manutenção	Teste de pressões e caudais
	Estado das paredes do tubo - tubos metálicos	Registos e observações de manutenção, registos da evolução de tubagem retirada	Visualização externa. Ultra-sons, electromagnetismo. Colheita de amostragem
	Estado das paredes do tubo - tubos à base de cimento	Histórico de rupturas. Excesso de fibras na água	Visualização interna, entrada humana ou CCTV*.
	Estado das paredes do tubo - tubos de PVC	Histórico de rupturas	Inspecção visual. Teste da fenoltaleína. Medição da dureza das paredes em amostras
			Ensaaios mecânicos em amostras
Condição hidráulica – rede de abastecimento de água	Indicadores de desempenho	Reclamações de baixas pressões e caudais	Modelos hidráulicos de teste de caudais e pressões

(\*) Filmagem por circuito fechado de televisão (CCTV – “Close Circuit TV”)

## 2.2. AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS TUBAGENS – TÉCNICAS DE INSPECÇÃO

Uma vasta gama de técnicas está disponível para inspecção de tubagem enterrada e avaliação do seu estado. Estas variam desde a simples inspecção visual, até técnicas altamente sofisticadas por electromagnetismo. As mais comuns têm uma descrição mais detalhada numa sub-secção deste trabalho. Essas técnicas estão resumidas na tabela seguinte.

Tabela 2 - Técnicas de Inspeção de Tubagens

Tipo	Designação	Princípio
Externa	Inspeção visual	Inspeção em locais onde o tubo está exposto, incluindo a presença e estado da protecção à corrosão
	Medição da profundidade das fendas	Medição directa da corrosão e distribuição nos tubos metálicos
	Ultra-som	Inspeção por ultra-som para determinar a espessura das paredes dos tubos
	Colheita de uma micro-amostra	Usado em redes em pressão, onde se remove uma pequena amostra para evolução laboratorial
	Colheita de amostra de tubo	Remoção uma amostra de tubo para evolução laboratorial
Interna	Inspeção visual	Inspeção directa pela entrada humana
	Pesquisa por CCTV	-
	Sonar	-
	Métodos a laser	-
Técnicas avançadas/experimentais	Métodos electromagnéticos	-
	Resistência à polarização linear	-

### 2.2.1. TÉCNICAS DE INSPECÇÃO EXTERNA

#### 2.2.1.1. Inspeção Visual

Estas técnicas fazem uso de locais de acesso existentes em que o tubo pode estar exposto, ou locais com esse propósito. No caso de redes de tubagens metálicas, a inspeção pesquisa sinais de corrosão e qualquer dano existente na protecção exterior. Geralmente esta técnica é acompanhada por uma outra das abaixo citadas.

#### 2.2.1.2. Medição da Extensão e Profundidade de Fendas (“Pith Depth Measurement”)

Em tubos metálicos, quer em ferro fundido, ferro fundido dúctil e aço é possível medir a extensão da corrosão externa através da avaliação da profundidade e distribuição de fendas. Precedentemente, é necessário remover qualquer corrosão existente, expor a superfície metálica e assinalá-la através duma grelha que facilita a monitorização. Um simples aferidor é seguidamente utilizado para medir a profundidade das fendas.

#### 2.2.1.3. Ultra-Sons

Em conduitas metálicas o equipamento de ultra-sons pode ser utilizado para medir a espessura das paredes e extensão da corrosão. Contudo, em ferro fundido dúctil, é necessário o emprego de técnicas

especiais na inspecção, que devido à não homogeneidade das paredes, pode levar a falsas reflexões internas.

#### 2.2.1.4. Colheita de Micro-Amostras (“Coupon removal”)

Esta técnica envolve o uso de equipamento que permite a retirada de material (50mm de diâmetro) das paredes da conduta, com esta em carga. A análise do material dá a indicação do tipo e extensão da corrosão e, em conjugação com a medição do diâmetro exterior, permite determinar o diâmetro interno do tubo. No caso de condutas de fibrocimento, a amostra pode ainda ser testada a resistência à compressão e dos resultados aferir-se acerca da actual força resistente das paredes do tubo.

#### 2.2.1.5. Colheita de Amostras de Tubo

Esta é a forma mais eficiente e exacta para se determinar a natureza e extensão da corrosão, contudo sempre que este envolve a suspensão do serviço, torna-se demasiado dispendiosa e perturbadora. Por norma, um troço de um metro de amostra é colhido em todos os 250 metros, e analisado em laboratório. Esta técnica segue um procedimento cuidadoso, a corrosão é removida e a alteração de massa é registada, e efectua-se a medição directa do diâmetro interno e externo. Através deste método pode ainda calibrar-se os resultados obtidos por métodos de inspecção não-destrutivos.

As companhias de águas do Reino Unido têm utilizado este método em várias colheitas de amostras e elaboraram uma importante base de dados.

### 2.2.2. TÉCNICAS DE INSPECÇÃO INTERNA

#### 2.2.2.1. Inspecção Visual

Este método aplica-se a tubagens que permitem a entrada humana. A inspecção é feita visualmente, onde se determina o grau de corrosão das paredes e outros problemas. Na generalidade dos casos, esta operação é acompanhada por uma gravação vídeo.

Em redes que não permitem a entrada humana, a inspecção é realizada através de um circuito fechado de televisão, como se descreve de seguida.

#### 2.2.2.2. Inspecção por Filmagem em Circuito Fechado (“CCTV”)

Actualmente existe uma alargada gama de equipamentos disponíveis, que podem ser acoplados a um pequeno dispositivo de tracção (robô), permitindo o registo contínuo das paredes da conduta. Esta é técnica mais utilizada para avaliar o estado de redes de drenagem em betão e grés cerâmico, empregando um modelo standard de codificação para as anomalias detectadas, possibilitando a atribuição de vários graus do estado estrutural que varia de 1 a 5 (1 bom e 5 mau).

Nos mais recentes desenvolvimentos as câmaras têm a possibilidade de filmar com uma melhor resolução as anomalias e as aberturas laterais. Para além disso, através de programas informáticos é possível o controlo e registo de toda a informação da pesquisa. Um equipamento com maior sofisticação (SSET) utiliza um tipo especial de lentes, que permite a observação de secções das paredes anteriores e posteriores da câmara, e o processamento automático dos dados que atribuem um dado grau ao estado estrutural.

Para além da detecção de anomalias estruturais, tais como, fendas longitudinais e transversais, a pesquisa permite determinar a localização e estado das aberturas laterais e estado das juntas com base nas infiltrações registadas na gravação. O equipamento permite ainda a pesquisa em aberturas laterais até distâncias de 20 metros quando instaladas na conduta principal. Até a actualidade, a decisão de se renovar ou substituir um troço duma rede de drenagem, era unicamente assente na informação retirada da pesquisa por CCTV. Contudo, mais recentemente no Reino Unido a decisão de reabilitar é mais condicionada pelo desempenho do transporte de caudal das tubagens, do que no estado de degradação estrutural.

De referir que, para além de ser possível aplicar-se a inspecção por CCTV em qualquer tubagem, a maioria das pesquisas é realizada em sistemas de drenagem, como a maioria das redes em pressão necessitam de ser interrompidas antes de qualquer inspecção, contudo isto não impede que inspecção através de CCTV seja usada em sistema em pressão.

#### 2.2.2.3. Sonar

Estes métodos são utilizados como suplemento à inspecção de redes de drenagem por CCTV, em situações onde a tubagem apresenta uma grande quantidade de material assoreado. Fornece informação do estado do tubo abaixo da camada de detritos. Geralmente é acoplado em conjunto com a câmara de inspecção ao mesmo veículo de tracção o que permite a integração dos resultados.

#### 2.2.2.4. Métodos a Laser

Esta técnica é utilizada para determinar a forma da secção, particularmente em casos de ovalização e desvios na vertical, causados pela interacção entre a conduta e os carregamentos externos. Esta informação é importante desde que o efeito da linearidade do sistema deva ser tido em conta.

#### 2.2.2.5. Técnicas de Monitorização Acústica

A monitorização acústica pode ter dois propósitos:

- Detectar e localizar fugas
- Detectar e localizar a degradação e ruptura dos cabos de pré-esforço em tubos de betão pré-esforçado.

### 2.2.3. TÉCNICAS AVANÇADAS E EXPERIMENTAIS

#### 2.2.3.1. Métodos Electromagnéticos

Estas técnicas induzem um campo electromagnético nas paredes do tubo gerado a partir de um transmissor que determina a extensão em que o campo se altera, a amplitude e frequência da onda, pela passagem através das paredes do tubo. O sinal obtido é processado informaticamente, reproduzindo um registo da variação local da espessura das paredes.

#### 2.2.3.2. Resistência à Polarização Linear

Um alargado número de métodos têm sido proposto que permitem correlacionar a corrosão dos tubos metálicos com o potencial corrosivo dos solos. Com base em medições e ensaios laboratoriais é

possível estimar o tempo de vida útil e propensão para falhas e rupturas de um determinado tubo. Apesar das limitações destas técnicas serem conhecidas, é uma forma fácil e prática de avaliação da corrosão.

### 2.3. TUBOS E RESPECTIVOS PROBLEMAS

Canais, fechados ou a céu aberto, com o propósito de abastecimento e drenagem de água têm sido utilizados desde o tempo dos Romanos. Contudo o primeiro uso propositado de tubos construídos foi em meados do século XIX, incluindo o uso de ferro fundido em redes de abastecimento de água, e canais de drenagem construídos em tijolo. Parte destes sistemas estão actualmente em utilização, o que é um testemunho da qualidade da engenharia praticada em tempos passados. Nos anos seguintes, novos tipos de tubagem foram introduzidos com o propósito de trazerem vantagens, o que nem sempre se verificou, e em certos casos, alguns produtos mostraram mesmo sinais de ruptura antecipada. Enquanto novos materiais eram introduzidos no mercado, os mais antigos foram retirados ou a sua aplicação bastante limitada. São exemplo a substituição do ferro fundido pelo ferro fundido dúctil e a cessação de produção de tubagens em fibrocimento, devido ao seu potencial de risco para a saúde humana.

A Tabela 3 enumera todos os tipos de tubos instalados nos últimos 150 anos, em termos de diâmetro, período de aplicação, e tipo de escoamento. A Tabela 4 sumariza os tipos de defeitos que podem afectar o desempenho das redes de tubagens, sendo a primeira condicionante que conduz os programas de reabilitação. Em sub-secção própria, será discutido os tipos de material utilizado nos tubos com um maior detalhe, com especial ênfase, aos mais antigos que representam o grosso da actividade de reabilitação.

Tabela 3 - Material de Tubagens (Gama de Diâmetros, Período de Instalação e Tipo de Escoamento)

Material		Gama de Diâmetros (mm)		Período de Instalação		Tipo de escoamento
Tubos à base de cimento	Betão simples	150	600	Início de 1990	Até à data	Superfície Livre
	Betão simples reforçado com aço	150	1200	Início de 1990	Até à data	Superfície Livre
	Betão Armado	250	3660	1940	Até à data	Pressão
	Fibrocimento	150	1050	1930	1980	Superfície Livre e Pressão
Tubos metálicos	Aço	15	4000	1850	Até à data	Pressão
	Ferro fundido dúctil	75	1600	1960	Até à data	Pressão
	Ferro fundido	75	1500	1850	1940	Pressão
Cerâmicos	Grés	100	1000	Início de 1900	Até à data	Superfície livre
	Canais em alvenaria	600	4000	Meados de 1800	1940	Superfície livre

Material		Gama de Diâmetros (mm)		Período de Instalação		Tipo de escoamento
Termoplásticos	Polietileno	100	1600	1980	Até à data	Pressão
	PVC*	100	1200	1970	Até à data	Superfície Livre e Pressão
	MOPVC**	100	600	1995	Até à data	Superfície livre
Tubos à base de resinas termoendurecíveis reforçados com fibra de vidro	Pressão até 6 bar	300	4000	1960	Até à data	Superfície Livre e Pressão
	Pressão até 10 bar		2750			
	Pressão até 17 bar		2400			

PVC\* - Poli Cloreto de Vinilo; MOPVC\*\* - Poli Cloreto de Vinilo Molecularmente Alterado

Tabela 4 - Modos de Falhas dos Vários Tipos de Tubagens

Material		Modos de falha estrutural
Ferro Fundido	Pequenos diâmetros (<375 mm)	Rupturas circunferenciais, fendas nas campânulas, corrosão ao longo das paredes
	Diâmetros médios (375-500 mm)	As mesmas que em diâmetros pequenos, rupturas longitudinais e fracturas em espiral, deformação da secção
	Grandes diâmetros (>500 mm)	Rupturas longitudinais, cisalhamento das campânulas, corrosão ao longo das paredes
Ferro Fundido Dúctil		Corrosão através de orifícios devido a anomalias nas camadas interiores e exteriores de protecção
Aço		Corrosão através de orifícios, susceptibilidade de ruptura em grandes diâmetros
PVC		Rupturas longitudinais devido ao excesso de cargas, deformação excessiva devido ao incorrecto apoio aquando do assentamento
Polietileno de alta densidade		Imperfeições nas uniões, degradação mecânica devido à imprópria instalação, susceptível a colapso por sub-pressões para baixos níveis de pressão
Fibrocimento		Rupturas circunferenciais, degradação do material em ambiente agressivo (solos ou águas residuais), fendas longitudinais
Betão simples		Fendas longitudinais devido ao excesso de cargas externas, degradação do betão em ambientes agressivos (solos ou águas residuais)
Betão simples reforçado com aço		Fendas longitudinais devido ao excesso de cargas externas, degradação do betão em ambientes agressivos (solos ou águas residuais)
Betão Armado e/ou pré-esforçado		Tubos com cabos de pré-esforço podem sofrer a ruptura devido à perda de tensão nos cabos. Degradação do tubo em ambientes agressivos, corrosão das armaduras, deterioração do betão devido aos métodos incorrectos de instalação.
Grés-cerâmico		Rupturas longitudinais e nas campânulas devido ao excesso de cargas solicitantes.

### 2.3.1. TUBOS DE MATERIAIS TRADICIONAIS

#### 2.3.1.1. Tubos à base de Cimento

Os tubos de betão, simples ou armado, são usualmente de forma circular e aplicam-se em redes de drenagem de águas residuais e pluviais. Estão disponíveis em medidas standard desde 300 mm até 2500 mm e as ligações destes são garantidas pelas campânulas e seladas com uma junta flexível de borracha.

Quando enterrados, a primeira exigência ao nível da sua concepção, é que resistam às cargas solicitantes, aterro acima deste e cargas rolantes, sem deformações excessivas ou até mesmo o colapso. A resistência estrutural destes é normalmente definida por três ensaios destrutivos. Se as juntas estiverem devidamente seladas e travadas, tubos de betão simples reforçado com aço podem ser usado sobre baixos níveis de pressão interna.

As tubagens em betão estão sujeitas à corrosão externa na presença de solos agressivos, e corrosão interna para determinados tipos de esgoto que estes transportam. Ambientes quentes e com baixas velocidades de escoamento as águas residuais originam a produção de sulfureto de hidrogénio, convertido em ácido sulfúrico, que ataca o revestimento superior dos tubos levando a um eventual colapso. Actualmente, na concepção de redes deste género já é tida em linha de conta as condições de septicidade, recorrendo-se por vezes, ao revestimento interior do tubo com argamassas poliméricas.

Mesmo não estando sujeita ao efeito da corrosão, as tubagens em betão podem experimentar o colapso devido ao excesso de cargas actuantes, por vezes, desprezadas na sua concepção, ou devido à alteração das condições à superfície. A ruptura das juntas pode mesmo ocorrer devido à degradação dos anéis de ligação ou ao excesso de tensões de corte. Todos estes problemas podem ser detectados através de inspecção por filmagem em circuito fechado (CCTV), e classificadas segundo um grau estrutural, desde 1 (Bom estado) até 5 (risco sério de ruptura).

As tubagens em betão armado pré-esforçado foram desenvolvidas nos Estados Unidos da América, para satisfazer a necessidade de linhas com grandes diâmetros e longas extensões. Estes consistem num cilindro em aço embebido em uma argamassa de betão, com uma camada de reforço em aço. São pré-esforçados aquando da sua produção para resistirem a tensões internas, geradas pela pressão interior. Estão disponíveis até diâmetros de 3500 mm, e suportam pressões até os 30 bar, ou seja, 300 m.c.a. Tal como noutros tubos à base de cimento, os tubos pré-esforçados, estão sujeitos a corrosão interna e externa, que podem levar à corrosão dos cabos e levando à sua ruptura.

A ruptura deste tipo de tubagens pode ser muito dispendiosa em termos de perda de abastecimento e consequentemente muito danosa. Como forma de prevenção para tais problemas, têm sido desenvolvidas técnicas quer para detecção de secções em risco de ruir, quer para a substituição dessas.

Actualmente, estão também disponíveis tubos de betão polimérico ou reforçado com fibra de vidro, que utilizam materiais que melhoram as características e o desempenho sobre diferentes condições.

A produção de tubagens em fibrocimento tem início nos anos 30 e termina, quer na Europa quer nos Estados Unidos da América, nos anos 80 devido aos efeitos prejudiciais à saúde dos seus materiais constituintes aquando da sua produção. O início da sua aplicação foi em conduitas de abastecimento de água na América do Norte e na Europa, bem como, em redes de drenagem gravítica, apresentando um desempenho satisfatório na primeira situação. Não existindo qualquer evidência do risco para a saúde devido ao consumo de água transportada nestas tubagens, o fibrocimento continua a ser utilizado em diversas áreas. A urgência na renovação das redes é, normalmente, condicionada às situações em que a acidez da água drenada ou a agressividade dos solos possa levar ao colapso prematuro da estrutura. Isto é causado pelo amolecimento da matriz cimentícia e ruptura das ligações entre fibras. Em laboratório é possível detectar estas situações através da avaliação de uma amostra de tubo retirada da rede.

### 2.3.1.2. Tubos à base de Argila – Grés Cerâmico

A sua produção em larga escala começou em 1849 apresentando inicialmente uma secção hexagonal, e passando rapidamente para a produção de tubagens de secção circular. Cedo se passou da produção manual para a produção mecânica das campânulas e das juntas, estando todo o processo industrializado nos 20 a 25 anos seguintes.

Desde 1950, os tubos vítreos são ligados através das campânulas por união macho/fêmea, seladas com uma argamassa de cimento durante a sua instalação. Contudo, este tipo de juntas é muito rígido, e tende a partir se existir qualquer movimento do solo. De forma a minimizar este tipo de problemas, foram introduzidas juntas flexíveis em borracha que substituíram as tradicionais,

Actualmente, estas tubagens estão disponíveis até diâmetros de 1200 mm, e a gama inclui tipos especiais para a cravação. A grande vantagem destes é a resistência à corrosão, o que levou à sua aplicação generalizada para redes que transportam materiais sépticos ou em condições ambientais agressivas. O seu grande problema ainda reside na ruptura nas antigas juntas e devido a excesso de cargas.

### 2.3.1.3. Canais em Alvenaria

A maioria dos primeiros interceptores de esgotos da Europa e dos E.U.A. foram construídos “in situ” utilizando tijolos e argamassa. Elevados níveis de especialização de mão-de-obra eram necessários para construir secções circulares e elípticas de diâmetros até 4 m. Para atingirem um bom desempenho, os canais em alvenaria deveriam respeitar determinadas condicionantes, tais como:

- Devido à sua inerente superfície rugosa resultante do material constituinte das paredes, os canais teriam que ter grande largura de forma a garantir a capacidade de transporte.
- Para que estes fossem resistentes estruturalmente, exigia-se que as secções se adequassem à capacidade das alvenarias o que obrigava o recurso de soluções de canais de grandes dimensões.

Após uma ponderação de custo/benefício na solução de canais em alvenaria, surgiu o ímpeto por utilizar soluções mais duradouras.

O ponto fraco deste método de construção era a argamassa de cimento das juntas entre a alvenaria que era frequentemente atacada pelos agentes do esgoto e erodida pelos detritos transportados. Foi o colapso de um canal de drenagem deste tipo no Norte do Reino Unido que despoletou o estudo de avaliação do estado dos sistemas e por consequência os programas de reabilitação.

## 2.3.2. TUBOS METÁLICOS

### 2.3.2.1. Ferro Fundido

O ferro fundido começou a aparecer em meados do século XVIII para os serviços municipais de abastecimento de água. A sua primeira aplicação em grande escala na distribuição de água ocorreu em 1664 em Versalhes, França. Cerca de 24 km de conduta adutora foi instalada desde Marley-on Seine para o palácio de Versalhes, sistema que permanece em funcionamento até os dias de hoje.

A cidade de Filadélfia começou a instalar tubo de ferro fundido no seu sistema de distribuição da água (cerca de 1804-1810) para substituir os antigos tubos em madeira de abeto (reforçada nas extremidades com bandas de ferro forjado). Na verdade, foi a Filadélfia a primeira cidade americana a



utilizar exclusivamente o ferro fundido devido à grande extensão da rede e das maiores pressões instaladas. Durante anos, a mais alta qualidade de ferro fundido, era assinalado com um "P" de "Philadelphia", indicando que a canalização reunia as rigorosas normas do sistema de abastecimento de água de Filadélfia.

Até o início dos anos 1940 o processo de fundição era feito em fossas, mas foi gradualmente substituída por um processo centrífugo de fundição que se manteve em uso até ao aparecimento do ferro fundido dúctil na década de 1960.

Os tubos de ferro fundido sofrem corrosão tanto interna como externa, e os efeitos disso no desempenho do sistema, é o principal condutor para a reabilitação dos sistemas de água. A corrosão interna do ferro fundido é muitas vezes acompanhada de uma acumulação do produto de corrosão, incrustações, que afecta negativamente a pressão, o caudal escoado e a qualidade da água, tanto em termos de contaminação e estética (cor, odor e sabor). Eventualmente a corrosão causa rupturas e falha estrutural. Condições agressivas dos solos envolventes originam a corrosão externa causando também fugas e falhas estruturais.

A partir de 1930, o processo de fabrico dos tubos incluiu o revestimento interno com uma argamassa de cimento para evitar a corrosão. Na década de 1950, este processo foi adaptado para permitir a aplicação "in situ" da protecção das tubagens em serviço. Este método e o desenvolvimento de produtos à base de resinas para revestimento de protecção, são amplamente utilizados em tecnologias de renovação de redes de abastecimento de água

#### 2.3.2.2. Aço

A alta resistência e disponibilidade de matéria-prima levou à utilização generalizada de tubos de aço em redes sobre pressão. Os primeiros tubos eram formados a partir de segmentos rebitados nas costuras, o desenvolvimento posterior permitiu o uso de juntas soldadas e tubos sem costura. A susceptibilidade do material à corrosão, levaram à utilização, em fábrica ou "in situ", de argamassa de cimento para revestimento interno, epóxi e alcatrão para revestimento exterior.

#### 2.3.2.3. Ferro Fundido Dúctil

O ferro fundido dúctil foi introduzido no início dos anos 60, como substituto para o ferro fundido. As mudanças na metalurgia do ferro permitiram grandes aumentos na resistência do material. Isso, juntamente com a elevada ductilidade do material, permitiu o aumento de resistência às pressões internas, com uma redução considerável da espessura das paredes. No entanto, este material é tão susceptível à corrosão como o ferro fundido, podendo mesmo sofrer uma ruptura antecipada, devido à fina parede. O material deve ser protegido, tanto a nível interno e externo, na maioria das situações.

A protecção interna é normalmente conseguida através da aplicação do revestimento de uma argamassa de cimento. Quanto à protecção externa, originalmente era garantida pelo revestimento em epóxi ou alcatrão, complementada com uma forra em polietileno quando instalados em de solos agressivos. Mais recentemente, o revestimento externo é garantido por camadas em estanho ou zinco.

Nos últimos anos, tem havido um aumento considerável da corrosão externa do ferro fundido dúctil, o que tem levantado algumas dúvidas quanto à capacidade protectora da forra em polietileno.

### 2.3.3. TUBOS TERMO-PLÁSTICOS

#### 2.3.3.1. Poli Cloreto de Vinilo (PVC)

O primeiro uso de PVC ocorreu na década de 50, com uma grande aplicação nas duas décadas seguintes nas redes de abastecimento de água e gás e na drenagem de água. Os problemas na sua aplicação surgiram no Reino Unido, devido à fragilidade das juntas, o que levou a uma reformulação destes. Nos E.U.A., a formulação inicial foi correcta o que evitou grande parte dos problemas. Desenvolvimentos mais recentes, têm permitido um aumento gradativo a longo prazo do módulo de elasticidade, resultando na utilização de tubos com paredes mais finas. O PVC Molecularmente Orientado, (MO PVC) foi introduzido em 1995 e, mais recentemente, foi introduzido uma versão que pode ser unida por electrossoldadura, como o polietileno. O produto é utilizado para redes de abastecimento e drenagem de água e redes de gás, e tem a vantagem do baixo peso, combinado com a insusceptibilidade à corrosão.

Após a reformulação da composição química e resolvidos os problemas nas ligações entre varas, a utilização do PVC teve um caminho semelhante ao do PE. As falhas foram atribuídas principalmente a cargas pontuais resultante da insuficiente camada de protecção e má práticas de instalação. Contudo o PVC é talvez mais sensível a estes problemas do que o PE devido à sua baixa ductilidade, apresentando também uma maior susceptibilidade a falha prematura por fadiga do material.

#### 2.3.3.2. Polietileno (PE)

Os Tubos de polietileno, foram introduzidos no início dos anos 80, e já alcançaram uma grande cota no mercado das tubagens sobre pressão. A elevada ductilidade, baixo peso, e a facilidade de manuseamento permite uma eficiente aplicação. No entanto, a principal vantagem é a utilização de electrossoldadura, que permite ligar as varas dos tubos topo a topo formando um único elemento. Tal como no PVC, o material tem vindo a melhorar, com a introdução de resinas PE 100, permitindo a utilização de paredes mais finas para uma determinada capacidade de pressão. Mais recentemente XLPE (“Cross-linked Polietileno”), foi introduzido, que se destina a melhorar as características de desempenho do tubo, melhorando a resistência, durabilidade, resistência química e flexibilidade.

Outros desenvolvimentos no domínio incluíram a introdução da “protecção de pele”, que consiste no revestimento do tubo principal com outro em Polietileno. Este tubo principal é protegido por uma camada exterior de plástico mais dura, concebida para ser como camada de desgaste, para que, sobretudo em instalação sem abertura de vala, qualquer dano na superfície externa do tubo, seja absorvido pelo tubo protector.

Os tubos à base de plástico são relativamente novos, podendo-se argumentar que não houve tempo suficiente para o mecanismo de degradação inerente a cada material aparecer. Quase todas as falhas de tubos PE tem sido atribuída às más práticas de soldadura e de instalação. A utilização do PE pela indústria do gás gerou um extenso programa de ensaios, que têm ajudado a criar confiança para outras utilizações, e têm gerado Códigos de Boas Práticas e Directrizes, para facilitar os rigorosos procedimentos de garantia da qualidade.

#### 2.3.4. TUBOS À BASE DE RESINAS TERMOENDURECÍVEIS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO

Estas tubagens são baseadas numa combinação de resina epoxídica ou de Vinil Ester, areia de enchimento e fibras de vidro contínuas ou cortadas. Embora a literatura parece reconhecer dois tipos de tubo, existe uma certa confusão sobre a definição desses tipos. O termo tubo termoendurecível reforçado (“RTP-Reinforced thermoset Pipe”) é frequentemente utilizado para descrever todos os tipos de tubagens com esses elementos. O outro termo, plástico reforçado com argamassa (“RPM-Reinforce Plastic Mortar”) também é utilizado por alguns fabricantes para descrever o mesmo tipo de tubo, que faz com que não exista uma definição coerente reconhecida para este produto.

Existem dois processos base de fabrico. No processo de bobinar filamentos, o tubo é fabricado por um invólucro contínuo impregnado de resina de fibra de vidro que gira em torno de um mandril, até à espessura de parede desejada. O ângulo de incidência pode ser variado para alcançar a necessária combinação de arcos e rigidez longitudinal. O tubo é então curado em forno para desenvolver a resistência máxima.

Em alternativa a este método de fabrico, todos os elementos são adicionados num molde cilíndrico, que gira em alta velocidade que mistura e compacta os componentes antes do forno de cura.

Ambos os tipos de tubo obtidos são utilizados tanto para regimes sobre pressão e superfície livre, e também são amplamente aplicados em micro túneis.

As tubagens à base de resinas termoendurecíveis, geralmente têm um bom desempenho, existindo apenas problemas com a deformação excessiva decorrente da falta de concepção e/ou o inadequado leito de protecção e com o potencial de corrosão dos tubos em ambientes agressivos.



# 3

## SELECÇÃO DO MÉTODO DE REABILITAÇÃO E TRABALHOS PREPARATÓRIOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

Nas secções anteriores, reconheceu-se como um plano activo de gestão pode ser implementado. Inicialmente, o estado da rede é avaliado com recurso a uma das tecnologias de inspecção descritas. Dependendo do tipo de material, pode-se identificar as falhas do sistema causadas pelos defeitos do tubo. A decisão poderá então ser tomada como: qual as secções de tubagem com necessidade de reabilitação ou de substituição, ou como, um cronograma adequado para cada tipo de degradação. O passo seguinte será identificar as possíveis soluções de reabilitação, seguindo-se a escolha do método que melhor se aplicará [2].

A solução de reabilitação tecnicamente viável deve cumprir os seguintes critérios:

- Resolver o problema mantendo os parâmetros adequados de desempenho do sistema.
- Garantir o tempo de vida útil do sistema após reabilitação.
- Cumprir com todos os códigos, normas ou regulamentos.
- Aplicação com um nível aceitável de risco e alcançar a qualidade adequada.
- Permitir futuras operações de manutenção pelo explorador do sistema.

Há diversas formas de abordar o processo de selecção de métodos que satisfaçam estes critérios, e cada entidade tende a evoluir num método que se adequa à sua cultura, experiência dos funcionários e dimensão da rede.

### 3.2. APROXIMAÇÃO LÓGICA

Uma abordagem mais lógica para a selecção do método é apresentada a seguir, envolvendo as seguintes fases:

- Identificar os principais problemas de desempenho, e os defeitos que tubagens evidenciam.
- Enumerar todas as opções de reabilitação ou de substituição que são capazes de resolver estes problemas.
- A partir da solução de mais baixo custo, comparar as características das soluções, com os requisitos da aplicação.

Muitos exploradores dos sistemas recorrem a matrizes ou árvores de decisão para estruturar e formalizar o processo de selecção. Exemplos desse tipo de árvores podem ser encontradas na literatura disponível, muitas delas podem reflectir os interesses particulares e vícios do utilitário envolvidos. Em

última análise, quem pretender utilizar uma matriz de decisão deverá desenvolvê-la especificamente, utilizando exemplos genéricos como um ponto de partida. Todos os esquemas de decisão têm como base fornecer respostas para uma série de questões estruturadas. Cada resposta direcciona o usuário para a próxima pergunta e, eventualmente, a um conjunto de possíveis soluções.

Descreve-se de seguida exemplos de árvores de decisão utilizadas para as redes de abastecimento e drenagem de água, onde são utilizados como um meio de identificar os principais problemas no método de selecção.

### **3.3. ÁRVORE DE DECISÃO EM REDES COM ESCOAMENTO SOB PRESSÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Uma árvore típica utilizada para o abastecimento da água é discutido no AWWA (American Water Works Association) Manual M28, “The Rehabilitation of Water Mains”, que foi actualizado em 2001.

O objectivo desta árvore é identificar soluções alternativas para a simples substituição por uma conduta nova, quer sejam realizadas por métodos convencionais de vala aberta ou tecnologias sem abertura de vala. A árvore avalia a viabilidade técnica da utilização dos métodos que fazem uso da tubagem ou do espaço vazio existente no terreno que ocupa. Estes incluem substituição a substituição por técnicas destrutivas que renovam parcialmente ou totalmente a estrutura. O proveito de utilização da árvore consiste numa lista de soluções tecnicamente viáveis compreendendo um ou mais dos grupos listados acima. Só no caso de renovação não estrutural a tabela identifica uma tecnologia específica.

A árvore tem três ramos principais, que correspondem aos condutores chave para selecção de intervenção, que são:

- Problemas estruturais
- Baixas pressões ou caudais
- Qualidade da água

O Anexo 1 (pag. 89) mostra parte dessa árvore. Uma das mais importantes questões exige uma avaliação do efeito da tecnologia utilizada na futura integridade estrutural das infra-estruturas. A resposta a esta pergunta depende das causas do problema estrutural. Se é algum tipo de corrosão externa, a renovação baseada no revestimento interno não irá impedir uma maior degradação. A solução é a completa renovação, por exemplo o encamisamento, ou substituição. Se o problema se deve a corrosão interna e a condição estrutural do tubo é ainda suficientemente boa no momento da renovação, então a renovação não ou semi-estrutural é apropriada.

Outra questão fundamental diz respeito ao desempenho hidráulico. A entidade exploradora dos sistemas deve avaliar o provável impacto das diferentes opções de reabilitação no desempenho hidráulico da rede baseado nos modelos de cálculo existentes. O objectivo é determinar o mínimo diâmetro que vai ao encontro das necessidades de caudais, utilizando um coeficiente de rugosidade adequado para as diferentes opções, e portanto, determinar quais são viáveis.

Os outros ramos principais dizem respeito às infra-estruturas que não têm problemas estruturais, mas que têm níveis insuficientes de pressão ou caudais, apresentam fugas ou problemas de qualidade da água. A primeira questão determina se o problema é hidráulico ou de qualidade da água. Se o problema for de qualidade da água, a próxima pergunta diz respeito ao tipo de água transportada e recomenda revestimento à base de cimento não-estrutural excluindo o caso de águas agressivas. O ramo hidráulico da árvore primeiro verifica se o tubo renovado será hidraulicamente adequado. Se

não, então remete para as opções de substituição, e em caso afirmativo, a próxima pergunta diz respeito a fugas. Se a tubagem não apresenta fugas excessivas, então a solução recomendada será o revestimento não-estrutural no pressuposto de que os problemas hidráulicos são causados por incrustações, etc,.. Se a conduta apresenta fugas excessivas, então a substituição ou reabilitação semi/completa da estrutura ou selagem das juntas são as opções a considerar.

### 3.3.1 FACTORES SECUNDÁRIOS DE DECISÃO

Na maioria dos casos, a árvore identifica uma série de soluções de reabilitação, de modo a restaurar e manter a integridade estrutural e hidráulica do sistema. No entanto, algumas destas soluções podem ser eliminadas através da comparação da sua aplicação e limitações envolvendo as condições operacionais e de geometria do tubo. Outros critérios de selecção incluem:

- Curvas verticais e horizontais - os processos diferem na capacidade de realizar curvaturas.
- Comprimento máximo de instalação - pode ser um factor em que o acesso à rede é restringido.
- Dimensão dos estaleiros de obra (“Site Footprint”)- tamanho e número de espaços requeridos para instalação das frentes de intervenção podem ser um factor preponderante em situações urbanas congestionadas.
- Continuidade do Serviço (“Service Outage factors”) - alguns processos permitem restabelecer no mesmo dia os serviços, eliminando a necessidade de criar circulação alternativa ou fornecimento temporário de água.
- Conexões e acessórios (derivações, ramais, válvulas, etc) - todos os processos de renovação parcial ou total da estrutura exigem escavação local para reposição/renovação de conexões e acessórios, tendo a densidade espacial destas um importante efeito sobre os custos.
- Padrão de limpeza - alguns processos dependem de um elevado padrão de limpeza e isso pode ser difícil de se garantir em algumas circunstâncias.
- Risco de danos decorrentes da limpeza – os processos como o revestimento com resinas epóxicas requerem métodos de limpeza agressivos que podem danificar estruturalmente as condutas.
- Proximidade de outros serviços ou infra-estruturas - pode ser um problema na técnica de rebentamento, em que a cabeça de corte do equipamento pode danificar instalações na proximidade
- A aplicação destes critérios permitirá reduzir o número de opções tecnicamente viáveis para uma ou mais tecnologias sem abertura de vala e ainda, naturalmente, o método tradicional de abertura de vala.

### 3.4. ÁRVORE DE DECISÃO EM REDES COM ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE DE DRENAGEM DE ÁGUA - EXEMPLO

O método de selecção do Anexo 2 (pag. 91) foi adaptado a partir de uma árvore utilizada para uma grande cidade nos E.U.A.. Tal como a árvore de abastecimento de água, esta funciona com base no princípio de eliminar métodos com base em respostas a uma série de questões, de modo que as soluções tecnicamente viáveis são as remanescentes no final do processo. As questões dizem respeito ao desempenho dos sistemas, bem como, a condição e características da rede, que influenciam a selecção do método a aplicar.

A primeira questão tem em linha de conta a capacidade e desempenho hidráulico, e será respondida com base em registos e modelos hidráulicos. Se se verificar uma capacidade inadequada, o esquema

encaminha quer para métodos tradicionais quer para tecnologias sem abertura de vala, mas não oferece qualquer critério de orientação para a escolha entre estes.

Se a capacidade de transporte for a apropriada, a questão seguinte é a existência de defeitos/fissuras ou fugas nas ligações. A resposta baseia-se em registos e inspecções visuais da infiltração ou vazamentos, complementada com um levantamento do estado interior dos tubos através da filmagem em circuito fechado. Se a resposta à questão for afirmativa, então optar-se-á por reparações pontuais, no caso de problemas nas ligações, e soluções de maior intervenção, tal como um encamisamento com cura no local (“Cured in place pipe”), no caso de fugas generalizadas.

Outras questões utilizadas para excluir métodos de reabilitação incluem:

- A existência de curvas
- O tamanho das câmaras de visita ou pontos de acesso
- A possibilidade de desvio de caudais ou derivação por “By-pass”.

A selecção adicional dependerá de vários factores, tais como, o acesso à rede, capacidade hidráulica, condição estrutural, ou seja, as questões comuns de selecção final da solução. O esquema de renovação de redes de esgoto, requer mais informação facilitando o processo de selecção.

### **3.5. TRABALHOS PREPARATÓRIOS**

#### **3.5.1. INTRODUÇÃO**

Esta secção é dedicada aos procedimentos prévios a executar para aplicar uma técnica de reabilitação sem abertura de vala. Como acontece com todas as operações com instalações enterradas, mesmo em vala aberta, conhecer o que se vai encontrar, é tão importante como a forma de que se irá intervir. No entanto, esta secção não trata das técnicas de avaliação do estado das infra-estruturas existentes com vista à renovação ou substituição, mas sim, da descrição das técnicas que irão facilitar a implementação dos processos de reabilitação já seleccionadas. [3]

Os temas abordados incluem: a investigação “in loco” para detectar e registar a localização precisa das infra-estruturas já existentes; pré e pós-operação de registo de CCTV para estabelecer a posição das singularidades laterais, os obstáculos e o actual estado dos tubos; técnicas de limpeza que asseguram a adequabilidade da solução e sistemas de By-pass que restabelecem provisoriamente o abastecimento de água aos utilizadores ou derivam os caudais afluentes nas situações em que operações de reparação interrompem a linha principal quer de abastecimento ou drenagem, para qualquer intervalo de tempo significativo. Por final aborda-se alguns dos aspectos da segurança das operações.

#### **3.5.2. TRABALHOS LOCAIS (“SITE SURVEY”)**

Não se pode realizar qualquer intervenção que seja sem se localizar as infra-estruturas a reabilitar. Uma das mais comuns fragilidades em toda a indústria com serviços enterrados, decorre de os cadastros existentes até à data não serem suficientes e não estarem actualizados, e por vezes, não corresponderem à realidade existente.

O ponto de partida para qualquer trabalho no local é possuir todos os cadastros das estruturas enterradas existentes. Estes irão apontar para a espectável posição dos pontos de acesso ou câmaras de visita que podem ser confirmadas ou corrigidas por visualização no terreno. Estas inspecções/pesquisas podem então ser utilizadas como forma de confirmação dos serviços existentes antes do início das principais obras.



### 3.5.2.1. Sondagens

Um dos métodos mais comuns para detecção e comprovação de infra-estruturas enterradas é a realização de sondagens. Este método compreende a abertura de um pequeno buraco na posição em que se prevê a existência de um serviço, na expectativa de que a sonda intercepte o serviço procurado. Caso isso não se verifique, procedesse à abertura de uma série desses buracos de forma a identificar a posição do traçado do serviço, de forma a aferir se este recai sobre o caminho indicado nos cadastros. Se mesmo com estas sondas não se encontrarem as infra-estruturas, então passar-se-á para outro troço. A desvantagem desta técnica é que esta só identifica as direcções das tubagens entre intervalos das sondas tendo de se considerar esta como constante no intervalo destes. Para além disso, tem o inconveniente de ter de se danificar a superfície, podendo mesmo interferir com o tráfego, e obrigando ainda à consequente reposição das condições existentes no final da intervenção.

Durante muitos anos a única forma de realizar sondagens, para além de manualmente, foi escavar com máquinas equipadas com balde, usualmente retroescavadoras. Desenvolvimentos recentes introduziram a escavação por sistemas de vácuo, que utilizam uma combinação de jactos de água a alta pressão ou fluxos ar para cortar o solo. O material remanescente da escavação é então conduzido por vácuo num tubo de sucção para um tanque para posterior tratamento e reutilização como material de enchimento ou eliminação e transporte a vazadouro. [3]



Fig. 1 – Escavação por Vácuo

As vantagens destes sistemas são permitir executar, com grande celeridade, buracos precisos e de dimensões reduzidas, podendo interceptar as infra-estruturas existentes sem risco de causar qualquer dano, o que não acontecia na escavação tradicional, ocorrendo por diversas vezes o corte de outros serviços existentes.

### 3.5.2.2. Rastreio e Mapeamento (“Tracing and Mapping”)

Há uma variedade de técnicas e sistemas de rastreio e mapeamento disponíveis, que permitem a realização do cadastro infra-estruturas enterradas sem necessidade de recorrer a escavação. Estes sistemas, geralmente, baseiam-se na utilização de equipamentos electromagnéticos para localizar remotamente um serviço enterrado. Os principais sistemas electromagnéticos quando detectam as infra-estruturas emitem um sinal, indicando que por debaixo deste se encontra uma tubagem metálica ou cabos, quer estes estejam em tensão ou desactivos. Um sistema com antena de multi-frequência identifica os picos de sinal gerado pelas infra-estruturas, que pode ser tido como a posição directa acima do serviço em questão ou qualquer anomalia que possa existir, tal como, mudança de material que pode resultar de uma operação de reparo ou manutenção. Outros sistemas mais desenvolvidos também oferecem a possibilidade de utilizar o sinal para indicar a profundidade das infra-estruturas.



Fig. 2 – Equipamento electromagnético [4]

Estes sistemas têm a desvantagem de não identificar tubos não-metálicos. Para tal, existem dois sistemas alternativos que podem ser utilizados. No primeiro, uma sonda transmissora é conduzida numa haste através do tubo a partir de um ponto de partida conhecido, desde que o acesso a este não interrompa o serviço. A partir deste sinal e de uma antena receptora pode então ser delineada a rede. A outra alternativa a este método é uso de um equipamento de Geo-radar.

### 3.5.2.3. Geo-Radar (“Ground Penetrating Radar”)

Se os equipamentos acima descritos não possibilitarem o levantamento no terreno da posição e direcção das infra-estruturas, então pode recorrer-se à utilização do Geo-Radar. Esta técnica utiliza uma antena emissora de sinais que geram ondas de rádio que penetram no solo, semelhante aos sistemas de radares utilizados na aviação para medir distância ao solo. O sinal sofre reflexão e é recepcionado pela mesma antena, que após tratamento informático e experiência dos operadores é traduzido num esquema do perfil das condições existentes no solo.

Os primeiros sistemas requeriam uma série de competências e capacidade de interpretação dos resultados garantidas pelo conhecimento e experiência do operador. No entanto, ao longo dos últimos anos, avanços informáticos fizeram com que grande parte da interpretação seja agora assegurada pelo equipamento.

Os sistemas de Geo-Radar têm uma grande variedade de formas e capacidade, desde pequenos equipamentos com um único canal de emissão e recepção, até unidades multi-canal para situações em que pretende uma maior resolução para a pesquisa. Dependendo das circunstâncias em que se encontram a ser utilizados, cada um tem as suas vantagens e desvantagens. Um das principais

vantagens de qualquer sistema de Geo-Radar é a capacidade de localizar condutas de materiais não metálicos, tais como, tubos de plástico e de betão ou canais em alvenaria.



Fig. 3 – Geo-radar [5]

Tal como acontece com os sistemas electromagnéticos, a utilização do Geo-radar permite determinar a profundidade a que se encontram as infra-estruturas, permitindo defini-la em 3 dimensões, não se limitando à sua projecção em planta. Após a aquisição da informação no terreno, segue-se um trabalho de tratamento de dados em escritório com vista a obter-se os resultados requeridos. Um dos mais recentes desenvolvimentos nesta área de trabalho tem sido a capacidade de transposição desses resultados directamente para sistemas de informação geográfica (SIG) ou mapas de cadastros de infra-estruturas.

#### 3.5.2.4. Inspeção do Interior das Infra-Estruturas

Dependendo das circunstâncias de um determinado projecto, existe normalmente a necessidade/obrigação de se realizar uma pré-inspecção “in situ” de modo a se levantar as condicionantes do espaço de trabalho, bem como, o estado actual do interior das infra-estruturas para garantir que a técnica a utilizar se ajuste ou, se necessário, tomar medidas correctivas. Em infra-estruturas que permitem a entrada humana, esta inspecção pode ser realizada com um simples percorrer da conduta e levantamento “in situ” do seu estado. Nos outros casos, a inspecção terá que ser realizada com o apoio de um sistema de câmaras de vídeo (“CCTV”).

Embora a inspecção e controlo interno das infra-estruturas seja, usualmente, um instrumento activo de gestão em termos de avaliação do estado de uma rede com vista a futuros trabalhos, é também utilizado como uma ferramenta associada a tecnologias de renovação. Nestes termos, tem um papel a desempenhar na determinação do estado do tubo, a fim de assegurar que as condutas estão limpas, livres de qualquer obstrução que possa ter ocorrido desde a última inspecção, tais como, depósito de sedimentos, intrusão de raízes; novas ligações ou até mesmo operações de manutenção que tenham ocorrido. Para se proceder à reabilitação é necessário estabelecer a posição e tamanho das ligações/derivações laterais que, na maioria dos casos, têm de ser restabelecidas no final da intervenção.

Este tipo de pesquisa irá fornecer a quem reabilita, informação suficiente para estabelecer o nível de pré-limpeza, o número de obstáculos, se houver, que será necessário remover e a quantidade de ligações existentes e o tempo necessário para o seu posterior restabelecimento.

Em muitos casos, a inspecção por sistemas de câmara de vídeo (CCTV) tem agora um papel pós-obra a desempenhar, bem como, um número crescente de entidades exige uma vistoria pós-instalação para mostrar a situação final. Isto é vantajoso tanto para o proprietário do sistema, bem como, para quem executa a reabilitação, porque assegura a conformidade dos trabalhos e responsabiliza as devidas entidades.

### 3.5.3. LIMPEZA E ACONDICIONAMENTO DAS INFRA-ESTRUTURAS

A limpeza das infra-estruturas é provavelmente uma das operações mais importantes de um projecto de renovação. Pode mesmo ser classificada como a mais básica forma de reabilitação.

Como a maioria dos sistemas de renovação necessitam que haja aderência entre a tubagem existente e o novo revestimento, a limpeza é, geralmente, o primeiro passo no processo deste tipo de obras. Se um tubo não é suficientemente limpo antes do início do trabalho, há uma maior probabilidade de que a solução não tenha o melhor desempenho e não atinja o tempo de vida útil estipulado.

Existem diversas técnicas que permitem a correcta limpeza das tubagens. Em instalações que permitem a entrada humana, o método mais comum, é a limpeza manual utilizando jactos de água em pressão e material de fricção, permitindo que maiores obstáculos sejam removidos antes do início de qualquer trabalho de renovação. Em casos onde não é possível ou desejável a entrada humana, outros métodos de limpeza devem ser empregues, tais como, as descritas abaixo.

#### 3.5.3.1. Limpeza a Alta Pressão

É comum utilizar esta técnica, que emprega a projecção de jactos de água a alta pressão através de cabeças ligadas a bombas à superfície por intermédio de mangueiras, que permitem escoar um caudal de água com a velocidade desejada, libertando o material que tenha aderido às paredes internas do tubo. Os detritos criados por esta acção, são arrastados através do tubo, quer pela cabeça de pressão ou transportadas no caudal de água escoado. Em alguns casos, a pressão dos jactos de água pode ser suficiente para cortar algumas intrusões de raízes.

Quando as intrusões de raízes são um problema particular, e o equipamento de limpeza por jactos não é capaz de solucionar, existem robôs de controlo remoto especialmente concebidos que usam muito elevada pressão ou lâminas rotativas (fresas) para o processo de corte.

#### 3.5.3.2. Limpeza Mecânica

Quando as tubagens são de dimensões reduzidas ou sofreram qualquer diminuição da secção, como é comum nos sistemas de abastecimento de água, é necessário o emprego de uma técnica mais agressiva de remoção das incrustações. Utilizam-se então dispositivos tipo “raspadores”.

Existem várias formas de aplicação desta tecnologia, mas, em geral, o funcionamento depende da conduta ter dimensão suficiente para passar o cabo de um guincho. Uma vez posicionado, o raspador, é traccionado pelo guincho ao longo da conduta. Por norma, o raspador, é um dispositivo circular de

borracha ou de metal, em forma de um escova de aço ou chapa metálica ou de borracha em que a forma pode ou não ter algum tipo de recorte. A Fig. 4 apresenta alguns tipos desses dispositivos.



Fig. 4 – Exemplo de Raspadores [3]

O raspador remove qualquer material que se tenha acumulado nas paredes dos tubos. Estes ajustam-se às dimensões dos tubos, fazendo com que, para além de remover, estes arrastam o material para os locais de acesso à rede.

Outra forma, para situações mais críticas, é adicionar o movimento de rotação ao de arrasto, que garante que todas as incrustações sejam removidas. Para remoção dos detritos, poder-se-á utilizar jactos de água a alta pressão.

Uma das principais desvantagens da raspagem como uma forma de limpeza, é que devido à sua austeridade pode causar graves danos estruturais para o tubo em renovação. Existindo casos, em que se teve de alterar a solução inicial por uma que garantisse a estabilidade estrutural da conduta.

#### 3.5.3.3. Limpeza com Dispositivos “PIG”

Esta técnica de limpeza utiliza dispositivos em plástico ou em espuma de borracha do tipo “PIG”, que são arrastados ao longo das tubagens por meio de ar comprimido ou água em pressão. O processo é semelhante ao da limpeza mecânica, em que o dispositivo à medida que percorre o tubo, vai removendo e arrastando os detritos até aos pontos de acesso.

É uma forma de limpeza ligeira, sendo usualmente utilizada como uma técnica de manutenção em linhas de tubagens plásticas, em que pelas características do material o dispositivo têm que ser suave e somente remover pequenas acumulações ou depósito de material pouco aderente às paredes.

Para além da vantagem de permitir limpezas de manutenção, existe uma grande variedade de dispositivos que se adaptam a todos os tipos de tubos e situações. A Fig. 5 apresenta esse tipo de dispositivos.



Fig. 5 – Exemplo de dispositivos tipo “PIG” [3]

#### 3.5.4. REDE PROVISÓRIA

Em muitas circunstâncias, mesmo com a utilização de tecnologias sem abertura de vala, é necessário ter secções fora de serviço durante a execução dos trabalhos de reabilitação ou substituição. No caso de redes de drenagem em superfície livre, significa que, a menos que exista capacidade suficiente de armazenamento a montante da obra, é necessário um sistema de by-pass e bombagem para assegurar a continuidade do serviço. Em termos de abastecimento de água, a menos que o tempo de execução do trabalho seja muito curto, é necessário criar uma rede provisória de abastecimento domiciliário.

Em ambos os casos, a necessidade e o custo associado à prestação de serviços temporários pode ter um impacto significativo na opção técnica de substituição ou renovação a empregar. Esta parcela de custos deve ser tida em linha de conta, desde o início do projecto quer para o planeamento quer para o orçamento da solução possível.

##### 3.5.4.1. By-pass e Sistema de Bombagem Para Redes de Drenagem

Estes sistemas são, geralmente, exigidos quando o trabalho é susceptível de demorar mais tempo do que a capacidade de armazenamento disponível na cabeceira da zona a intervir. Na combinação de tarefas, execução da reabilitação com o sistema de derivação, existe um factor contraditório, se por um lado se reduz o tempo de execução quanto maior for a rede libertada para se poder intervir, por outro, exigirá uma maior instalação de By-pass e uma capacidade de bombagem. Assim, dever-se-á fazer uma análise de custo/benefício aquando da delimitação dos tamanhos dos troços a intervir.

A monitorização de caudais realizada durante a fase de avaliação das redes indicará os níveis de caudais afluentes e, portanto, estabelecer a capacidade de bombagem necessária. Se esta informação não foi obtida na fase supracitada, então dever-se-á proceder à recolha precisa desses dados antes da selecção de qualquer sistema de bombagem.

A estrutura geral do sistema requer isolar devidamente a secção de intervenção do resto do sistema, que continuará a funcionar normalmente. Para tal, tem que se selar e/ou tamponar os extremos do troço, sendo, por vezes, conveniente isolar-se dois troços, a montante e jusante, onde não se irá intervir.

O sistema de bombagem é instalado na caixa de visita a montante do trecho, elevando os caudais afluentes para a primeira caixa de visita a jusante do trecho.



Fig. 6 – Equipamento de Bombagem [3]

Além disso, uma adequada supervisão e manutenção, consumo de combustível ou energia, o ruído, acessibilidade, controlo de tráfego e perturbações locais, são todos aspectos vitais para o controlo durante a operação, bem como, a necessidade do sistema funcionar 24 horas por dia.

Quando os caudais espectáveis são relativamente pequenos, a conduta de by-pass pode ser instalada à superfície com a devida protecção. Se o sistema funcionar durante um período significativo de tempo, ou cruzar rodovias importantes, pode haver a necessidade de encontrar um traçado alternativo que garanta a ininterrupta da operação.

Se caso contrário, os caudais afluentes expectáveis forem significativos ou existirem francas restrições para a instalação da tubagem de by-pass, então poderá ser necessário o corte em pontos estratégicos da rede de forma a atenuar os efeitos acima referidos.

#### 3.5.4.2. Rede Provisória de Abastecimento Domiciliário de Água

Por vezes, em situações de intervenção em redes de abastecimento tem de se estabelecer um fornecimento temporário a fim de manter a continuidade do serviço aos clientes

O fornecimento de água aos clientes é garantido por uma tubagem de diâmetro reduzido colocada à superfície ligada a uma das extremidades, e se possível às duas, de forma a garantir níveis satisfatórios de caudais e pressão. As extensões destas linhas têm de ser limitadas porque, mesmo com dois pontos de abastecimento, a perda de carga originada pela secção diminuta pode criar, em horas de maior consumo, queixas por parte dos clientes. Para além desta restrição, é conveniente utilizar forras que protejam o tubo em situações em que este possa estar exposto de forma a evitar danos e possíveis fugas.

Para além de não ser necessário um estudo de dimensionamento da linha provisória de abastecimento, deve-se planear antecipadamente, e estabelecer quais as extensões e as possíveis ligações tendo em conta o número de ramais domiciliários englobados nesse troço.

### 3.5.5. ACESSIBILIDADE E SEGURANÇA

As condições de acessibilidade e segurança são dois factores relevantes a ter em conta em qualquer trabalho, tendo uma maior importância quando se trata de intervir em infra-estruturas enterradas.

Um dos principais motivos para a utilização da tecnologia sem abertura de vala nos últimos 30 anos tem sido a sua capacidade para reduzir a perturbação para a comunidade. Essa mesma redução pode ser o resultado de duas condições, em primeiro lugar, os trabalhos locais tendem a demorar menos tempo e, segundo, as tecnologias tendem a necessitar menores áreas de operação.

Geralmente, o acesso às redes é realizável através de espaços exíguos, com visibilidade reduzida, que requer um estudo da localização dos poços ou das áreas de trabalho ainda na fase de projecto. A definição da implantação destes deve maximizar as condições de segurança, facilitar a circulação de veículos e minimizar as perturbações quer nas infra-estruturas adjacentes quer para a sociedade local.

Deverá ser dada especial atenção às condições de segurança em situações de escavação fora das horas de trabalho, e a utilização de sinalização adequada e iluminação, sempre que necessário, assim como, prevenir o acesso ao pessoal não autorizado.

No caso de determinadas tecnologias, onde os materiais, compostos químicos ou outros, podem ser um potencial perigo, o operador deve ter a instrução necessária para poder manusear os equipamentos de segurança, protegidos com vestuário adequado.

Sempre que é necessário a entrada humana em espaços confinados, a formação e respectiva certificação deveria ser um requisito de quem realize esses trabalhos. Essa formação deve incluir não apenas a utilização de equipamento de acesso, mas também locais de ventilação, aparelhos respiratórios, comunicações e sistemas de monitorização, tais como, detectores de gás, e sistemas de emergência, quando necessário.



# 4

## TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS

### 4.1. INTRODUÇÃO

Nesta secção são apresentadas as tecnologias de renovação de tubagens deterioradas, que permitem uma reparação integral da conduta. Em sub-secção adequada será descrita resumidamente cada tecnologia e quais as situações em que estas são passíveis de ser aplicadas. Tais tecnologias são listadas em seguida: [6]

- Revestimentos Projectados “in situ” (“In situ Applied Coatings”)
- Encamisamento com Cura “in situ” (“CIPP, Cured in Place Pipe”)
- Entubamento (“Sliplining”)
- Revestimento com Inserção Apertada (“Close Fit Linings”)
- Revestimento em Espiral (“Spiral Winding linings”)
- Revestimento Seccional (“Sectional liners”)

### 4.2. REVESTIMENTOS APLICADOS “IN SITU”

Esta tecnologia envolve a pulverização de uma fina camada, geralmente uma argamassa de cimento ou resina epoxy ou de poliuretano na superfície interna dos tubos. A função do revestimento é a de separar o caudal escoado da parede do tubo e, portanto, eliminar ou reduzir significativamente a corrosão, contaminação ou perda de carga. O revestimento com argamassa de cimento proporciona a alcalinidade do ambiente, originando a passivação no interface entre o revestimento e a parede do tubo inibindo a corrosão. Os restantes tipos de revestimentos formam uma fina e impermeável barreira de protecção.

A aplicação desta tecnologia depende em grande parte de uma perfeita limpeza das paredes do tubo de forma a remover o produto da corrosão ou outras incrustações, de forma a criar uma superfície aderente ao revestimento. Esse imbricamento entre as paredes do tubo e o revestimento será um factor de grande importância no futuro desempenho da tubagem.

Todos os sistemas têm um efeito diminuto sobre a integridade estrutural do tubo ou na colmatação de fugas. Contudo, recentes desenvolvimentos nos sistemas à base de poliuretano, têm levado à possível utilização de camadas mais espessas garantindo o aumento da estabilidade estrutural, tendo já existido casos da sua aplicação na reparação de fugas em tubos sobre pressão. Os sistemas à base de cimento foram utilizados pela primeira vez na década de 1920 como um revestimento protector aplicado em fábrica para os novos tubos de ferro fundido dúctil e tubos de aço.

O revestimento com argamassa de cimento foi amplamente utilizado para renovar condutas de abastecimento de água no Reino Unido, América do Norte, e partes da Europa. No entanto, no Reino Unido, preocupações relativamente ao contacto com água de consumo e à redução na capacidade de transporte em tubos de diâmetro igual ou inferior a 100 mm, levou à procura de uma alternativa e foi então que surgiu o revestimento com resina epoxy. Actualmente introduziu-se o revestimento com resina de poliuretano, com uma cura mais breve em comparação com as outras soluções, permitindo o restabelecimento de água num intervalo de tempo até 12 horas.

#### 4.2.1. REVESTIMENTO COM ARGAMASSA DE CIMENTO (“CEMENT MORTAR LINING”)

A aplicação de uma argamassa de cimento como revestimento é um método comum e relativamente económico de renovação de redes de água. A argamassa de cimento apresenta duas funções principais, a alcalinidade do cimento inibe corrosão, e a sua superfície lisa reduz a rugosidade do tubo melhorando a capacidade de transporte e diminuindo a perda de carga.

Embora retarde o processo de deterioração da conduta existente, o revestimento não desempenha qualquer função estrutural, por isso esta técnica não é apropriada para colmatação de fugas, ou em situações de redução significativa da espessura das paredes devido à corrosão.

Neste método é importante aplicar uma espessura suficiente de argamassa, a fim de criar o ambiente alcalino. Tal como em estruturas de betão reforçadas com aço, um recobrimento insuficiente de argamassa irá permitir o aparecimento de corrosão, o que fará com que esta fissure e lasque.

A aplicação é geralmente realizada por um equipamento de pulverização alimentado através de mangueiras a partir da superfície, ou, particularmente em grandes diâmetros, pode incorporar uma tremonha/balde contendo argamassa pré-misturada. O controlo de velocidade de progressão do equipamento é extremamente importante para produzir uma espessura constante da argamassa. A pulverização da argamassa é acompanhada da regularização da superfície. Para tal pode-se utilizar um conjunto de espátulas ou através de um simples escudo com a dimensão do diâmetro interno, que é puxado por detrás do equipamento. Qualquer que seja o sistema utilizado é essencial centralizar o equipamento no tubo de modo que o revestimento seja de espessura constante em torno de todo o perímetro.



Fig. 7 – Dispositivo de aplicação de argamassa de cimento [7]



Fig. 8 – Esquema de pulverização de argamassa de cimento [6]

A argamassa utilizada é composta, em partes iguais, por cimento Portland e areia de quartzo. Pode ser uma solução viável para condutas com diâmetros entre 80 e 2000 mm. No caso de condutas de menor diâmetro, são abertos poços de acesso com cerca de 2,00 x 1,50 m, em intervalos de 150 m, retirando-se um troço de conduta com cerca de 1,00 m. Para condutas com diâmetros superiores a 600 mm, o intervalo entre poços será da ordem dos 400 m.

Após 10 a 16 h de aplicação da argamassa, completa-se a cura desta, então a conduta é limpa com água sob pressão. Cerca de 24 h depois, a conduta pode ser utilizada novamente. Nas figuras seguintes é possível observar uma secção de conduta por reabilitar (Fig. 9) e o aspecto final de uma conduta reabilitada através deste processo (Fig. 10).



Fig. 9 - Conduta antes de reabilitação [7]



Fig. 10 – Conduita após revestimento com argamassa de cimento [7]

A técnica de renovação de conduitas com o revestimento de argamassa de cimento tem como vantagens, para além das associadas às tecnologias sem abertura de vala, ser compatível com os aspectos ambientais, pois não utiliza materiais tóxicos na limpeza prévia nem no revestimento, e ser ainda, uma técnica pouco dispendiosa comparativamente com outras técnicas (e.g., revestimento com resina epoxy).

Os seus principais inconvenientes comparativamente com outras técnicas (e.g., a técnica Entubamento) são os seguintes: é uma técnica dispendiosa e morosa em trechos longos de conduitas; após o polimento da parede interior da conduita, pode haver necessidade de alteração de técnica, uma vez que esta técnica não confere uma maior durabilidade estrutural a conduita; é considerada uma solução provisória dadas as características do material de revestimento utilizado (cimento); e não permite um aumento significativo de capacidade hidráulica do sistema.

#### 4.2.2. REVESTIMENTO COM RESINA EPOXY

Os revestimentos com resinas de epoxy ou de poliuretano podem ser vistos como alternativas para a argamassa de cimento, com semelhante função de protecção à corrosão. O objectivo é que esta camada adira à superfície interna do tubo, formando um revestimento que impede a penetração da água e subsequente corrosão. Os revestimentos são, por norma, mais finos do que os de argamassa de cimento e, portanto, causam uma menor redução do diâmetro interno, para além disso, curam num menor intervalo de tempo. No entanto, qualquer defeito no revestimento pode permitir que a corrosão de início e, ao contrário de argamassa de cimento, não existe o efeito da alcalinidade que inibe a corrosão.

A resina é aplicada em conjunto com um endurecedor através de um equipamento de pulverização, que normalmente tem um bico que roda a alta velocidade. A espessura do revestimento é definida pela vazão e velocidade de progressão do equipamento. Na maioria dos sistemas, a resina e o endurecedor são alimentados através de mangueiras independentes e são combinados pelo misturador estático posicionado atrás do bico pulverizador. Idealmente, o tempo de cura deve ser tão breve quanto possível para minimizar o período de interrupção do serviço, e também para reduzir o risco de contaminação da resina antes da cura. No entanto, a cura demasiado rápida acarreta o risco de se bloquear o misturador ou o bico pulverizador. Ao contrário do revestimento com argamassa de cimento, a resina não é regularizada após a pulverização, a qualidade do acabamento da superfície depende da aplicação técnica e das propriedades do material.



Fig. 11 –Espigão pulverizador de resina epoxy [8]

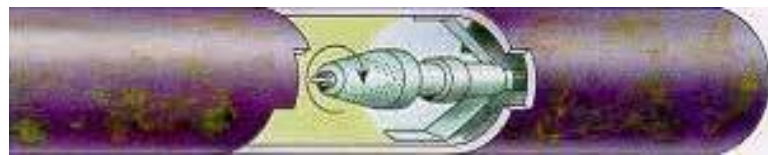


Fig. 12 - Esquema de pulverização de resina epoxy [6]

São utilizadas resinas epoxy do tipo ELC 173/90 (1ª geração de resinas) e do tipo ELC257/91 (2ª geração de resinas que visam uma maior resistência e uma maior durabilidade), que asseguram a formação de uma camada durável e resistente à corrosão. Podem ser utilizadas para a reabilitação de condutas de abastecimento de água, de combate a incêndios e de abastecimento industrial. Também se pode recorrer a este método quando se verificam problemas de qualidade de água devido a corrosão da parede interna da conduta. Tanto a resina ELC 173/90 como a 257/91 são certificadas para o revestimento “in-situ” de condutas. Apresentando uma resina base comum só diferem na tecnologia de endurecimento. Enquanto a ELC 173/90 possui um adjuvante endurecedor tradicional, na ELC 257/91 este é substituído por outro adjuvante com características mais avançadas que diminuem o tempo de presa.

Utilizar a resina epoxy tem várias vantagens, das quais se salientam, a aplicação rápida em comparação com argamassa de cimento; as resinas têm uma maior durabilidade e a superfície resultante deste método é substancialmente mais lisa. Consegue-se ainda um maior controlo da espessura da camada de resina do que pelo método com argamassa cimentícia e não obriga à interrupção de ramais prediais. É a técnica ideal para resolver problemas de corrosão e, consequentemente, problemas de qualidade da água.

Relativamente às desvantagens, a utilização deste método não é aconselhável para trechos muito longos (mais de 1000 m), nem para condutas com diâmetros superiores a 600 mm. Tal como o revestimento por argamassa de cimento, esta técnica não permite um aumento significativo da capacidade hidráulica da conduta.

### 4.3. ENCAMISAMENTO COM CURA NO LOCAL (“CURED IN PLACE PIPE - CIPP”)

#### 4.3.1. INTRODUÇÃO

A principal alternativa para o entubamento (sliplining) e suas variantes é a cura no local dum novo tubo, por vezes referido como “insitu lining”, “soft lining” ou “cured-in-place-pipe” (CIPP), que tem sido, desde à 30 anos, a técnica de reabilitação com maior aplicação em redes de esgoto que não permitem a entrada humana. A Tabela 5 resume os principais sistemas existentes, embora seja de

salientar que nem todos os fornecedores de tais sistemas utilizem estes termos. Apesar de vários sistemas estarem actualmente disponíveis, a característica comum é a utilização de uma manga de tecido impregnada com poliéster ou resina epoxy. A manga é inserida no tubo já existente e insuflado contra a parede do tubo e, em seguida, curado ou à temperatura ambiente ou, mais usualmente, com excepção para pequenos diâmetros, por recirculação de água quente ou de vapor. Algumas variantes utilizam luz ultra-violeta para cura da resina.

A inserção da manga é conseguida de duas maneiras possíveis. Uma é inverter a manga no tubo usando ar comprimido ou água, o que automaticamente empurra a resina contra a parede do tubo. A outra forma é puxar a manga por meio de um guincho através do tubo, insuflando-a uma vez que esta esteja correctamente posicionada. A diferença entre as duas técnicas é que na primeira opção não existe normalmente qualquer movimento relativo entre o material de revestimento e a parede do tubo durante a instalação, enquanto na segunda, há o potencial movimento entre a parede do tubo e o material de revestimento podendo causar danos, a menos que se utilize uma folha de protecção ou uma pré-manga

O restabelecimento das ligações laterais pode ser efectuado através de um robô comandado remotamente, sendo necessário garantir que durante a operação de encamisamento não se acumule resina nas tubagens laterais, que podem dificultar a ligação. Existem actualmente sistemas que possibilitam também o encamisamento das ligações laterais a partir da conduta principal.

Tabela 5 - Sistemas de Revestimentos por Cura no Local

Material da manga	Tipo de Cura	Resina	Regimes de escoamento	Observações
Feltro de Poliéster	Calor e ambiente	Poliéster, vinilester, epoxy	Superfície livre	Sistema original, continua a ser o mais utilizado
Feltro de Poliéster reforçado com fibra de vidro	Calor	Vinilester, epoxy	Em pressão	Semi e completa reabilitação estrutural
Tecido reforçado estruturalmente com fibra de vidro	Calor	Poliéster, vinilester, epoxy	Superfície livre e em pressão	Permite pequenas espessuras para escoamentos em superfície livre
	Luz U.V.	Especial	Superfície livre	Espessura reduzida e rápida cura
Tecido circular de fibras de poliéster	Calor ou ambiente	Epoxy	Em pressão	Semi estrutural dependente da adesão
Feltro mais tecido circular	Calor	Epoxy	Em pressão	Semi estrutural não dependente da adesão

Material da manga	Tipo de Cura	Resina	Regimes de escoamento	Observações
Tecido circular mais feltro de poliéster reforçado com fibra de vidro	Calor	Epoxy	Em pressão	Completamente estrutural

Nestes sistemas, a nova tubagem ganha forma dentro da existente. Este tem uma resistência estrutural quantificável, podendo ser dimensionado para se adaptar a diferentes condições de carga. A rigidez é reforçada pelo facto deste estar restringido pela tubagem existente e pelo solo circundante. A Fig. 13, apresenta o estado de um tubo cerâmico exibindo vários danos, que podem ser solucionados usando uma técnica de encamisamento.



Fig. 13 – Tubo em avançado estado de degradação [6]

Para além de minimizar a redução de diâmetro, estes métodos apresentam a vantagem de se adaptarem a uma grande variedade de formas de tubagem, tornando possível reabilitar secções não-circulares. Sendo apenas necessário uma correcta medição do perímetro e a utilização de materiais que não retraiam significativamente durante a cura. Em casos de tamanhos significativos, condições severas de cargas e secções não-circulares, a espessura das paredes necessária pode ser tão significativa, que a quantidade de material e consequentemente o preço possa limitar a sua aplicação e se opte por outra solução.

A principal desvantagem destes sistemas é a necessidade de interromper o serviço durante a instalação e cura, obrigando que em casos de redes de drenagem sem capacidade de armazenamento ou, duma rede de abastecimento, tenha que se recorrer a sistemas by-pass ou redes provisórias para assegurar o serviço aos clientes. Esta necessidade irá encarecer esta solução em termos técnicos e subsequentemente aumentar o custo desta.

#### 4.3.2. APLICAÇÃO

A Tabela 6 resume o campo de aplicação desta solução de reabilitação sem abertura de vala

Tabela 6 - Aplicação de Revestimentos por Cura no Local

Situação	Aplicabilidade	Comentário
Redes de drenagem	Sim	
Redes de abastecimento de água	Sim	Para o abastecimento de água potável existem uma grande restrição nos materiais que possam ser utilizados. O encamisamento recorrendo à cura no local não tem como principal propósito a renovação destas redes, contudo existem alguns materiais que foram concebidos para este fim
Redes de abastecimento de gás	Sim	Alguns destes sistemas foram desenvolvidos com o interesse de aplicá-los a estas situações.
Condutas de produtos químicos ou industriais	Sim	É necessário uma correcta formulação da resina para resistir à agressividade dos efluentes e/ou às altas temperaturas.
Diâmetros reduzidos	Sim	
Condutas com curvas	Sim	Poderá ocorrer um enrugamento da manga na face interior da curva dependendo do raio de curvatura, tipo de tecido e espessura do revestimento
Secção circular	Sim	
Secção não-circular	Sim	
Variação de secção	Possível (ver comentário)	Alguns sistemas admitem utilizar uma manga que permite a mudança no tamanho da secção. Outros utilizam mangas elásticas que se adaptam a ligeiras mudanças de tamanhos.
Ligações laterais	Sim	
Condutas com deformação	Possível (ver comentário)	Até deformações de 10% aceita-se um encamisamento sem se recorrer ao reperfilamento da secção. Contudo a ovalização reduz a capacidade resistente aos carregamentos, bem como às pressões hidrostáticas, que devem ser tomadas em conta na concepção.
Igual diâmetro	Não	
Escoamentos em pressão	Possível	Para além de originalmente se destinarem a escoamento em superfície livre, existem sistemas que são aplicáveis em escoamentos em pressão.
Condutas que permitem a entrada humana	Sim	Para tais situações, geralmente, torna-se demasiado dispendiosa, sendo adoptado outra solução.



#### 4.3.3. EXECUÇÃO - GERENALIDADES

Tal como acontece com outros sistemas de renovação, a limpeza e preparação são etapas preparatórias fundamentais para o sucesso da solução. Em redes que não permitem entrada humana, a inspecção deve ser realizada por CCTV imediatamente antes da execução dos trabalhos. Não é aconselhável a utilização de filmagens anteriores, para avaliar o estado e condição da tubagem, porque desde então esta pode ter sofrido alguma alteração. Em redes que permitem a entrada humana, sempre que possível, é favorável a inspecção visual directa, se tal não for exequível então pode-se recorrer a uma filmagem por CCTV.

Todos os detritos e/ou depósitos devem ser removidos por completo, e uma nova inspecção é recomendada após limpeza para verificar se esta foi conseguida e até mesmo para detectar danos que possam ter decorrido. De forma a evitar que isso aconteça, devem ser tomados cuidados para evitar pressões excessivas quando se utilizam equipamentos de jactos de água, pois isso pode agravar os defeitos. Adicionalmente, qualquer intrusão lateral (por exemplo: raízes), incrustação e outro depósito endurecido devem ser removidos por processos mecânicos ou equipamentos de corte a alta pressão de água, seguido de limpeza para remover os detritos que tal intervenção originou.

Quando se introduz a manga é necessário assegurar que qualquer fragmento de tubagem se solte. Isto é particularmente crítico quando a manga é inserida por arrasto através de um guincho e, após isso, é insuflada. Qualquer desvio ou contacto com a tubagem pode libertar um pedaço desta que irá criar um ponto fraco ou até mesmo um vazio entre o revestimento e a tubagem existente. As soluções que recorrem a mangas inseridas por inversão desta, tendem a originar menos problemas.

Nestas intervenções a instalação e cura do revestimento pode durar horas ou até mesmo dias dependendo do sistema e das características da conduta, o que pode levar à necessidade de desviar caudais afluentes. As ligações laterais são bloqueadas pela manga até que sejam novamente abertas, e devem-se tomar medidas para a remoção de possíveis sobrecargas se este não tiver capacidade de armazenagem. A acumulação de efluentes nos bloqueios laterais gera uma pressão sobre a manga, que pode ser significativa se a tubagem estiver a grande profundidade.

Para além de uma das vantagens de todos os métodos de reabilitação de condutas sem abertura de vala ser uma menor perturbação no espaço de intervenção, os sistemas de encamisamento com cura no local exigem um espaço significativo durante a execução dos trabalhos, especialmente no momento de introdução da manga e cura do material de revestimento. Este facto deve ser tomado em linha de conta ainda em fase de estudo porque pode mesmo obrigar a interferir com a regulação do tráfego.

As aplicações que utilizam a resina de poliéster como revestimento têm uma implicação ambiental a muito curto prazo, dado que o estireno, solvente adicionado à resina, liberta um forte odor juntamente com os vapores aquando da cura. Contudo, embora possa ser um risco para a saúde em altas concentrações, esses níveis não são, por norma, encontrados em torno do espaço de execução. Na realidade, o vapor de estireno é detectado pelos humanos em concentrações inferiores a 1 ppm (parte por milhão), e o odor torna-se demasiado forte para níveis que representem uma ameaça para a saúde humana. Para além da cura da resina ser um período curto de execução dos trabalhos, devem-se tomar medidas de ventilação adequadas de forma a evitar qualquer perturbação.

Para além da libertação de odores, a resina de poliéster é susceptível ao contacto com a água, o que pode ser um problema relevante em sistemas que consentem permanentes infiltrações ou, quando as derivações permitem a afluência de caudais. De forma a evitar o contacto entre a resina e a água recorre-se à instalação de uma pré-manga.

#### 4.3.4. SISTEMAS DE DRENAGEM - ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE

##### 4.3.4.1. Cura Térmica

Na generalidade, em escoamento em superfície livre, os sistemas de encamisamento com cura térmica utilizam uma manga de material não-tecido em poliéster impregnada com resina de poliéster. Por vezes, os sistemas utilizam ainda material compósito tal como, o feltro ou a fibra de vidro. A formulação da resina pode-se alterar de forma a se adaptar aos diferentes regimes de cura e às características do afluente.

Para garantir a aderência entre a manga e a resina, é frequente aplicar-se uma ligeira camada em poliéster, polietileno ou poliuretano anteriormente à impregnação da resina. Para além da aderência, esta retém o ar ou a água durante a inversão e serve como acabamento à superfície em contacto com o afluente proporcionando um baixo atrito ao escoamento devido à reduzida rugosidade. Por vezes esta camada é substituída por uma membrana que pode ser retirada após a instalação.

A impregnação é normalmente levada a cabo em fábrica sob vácuo para assegurar a distribuição uniforme da resina e eliminar qualquer vazio que se possa formar. Este processo é conhecido como o “wetting-out” (processo de humedecimento). Por vezes, dependendo das características da resina, é necessário recorrer a veículos refrigerados que evitam que o processo de cura se inicie prematuramente entre a fase de fabrico e a fase de aplicação.



Fig. 14 – Início da inversão [6]

O posicionamento da manga no interior da tubagem a renovar pode ser conseguido de duas formas. Através do arrasto da mesma ao longo da conduta recorrendo a um guincho e cabos de aço, ou por meio da inversão da mesma, utilizando a pressão da água ou ar para desenrolar a manga.

Na generalidade, o procedimento recorrendo a inversão da manga é o seguinte:

- Uma estrutura em forma de reservatório é construída para criar a altura de água necessária para inverter a manga. Em caso de sistemas localizados a grande profundidade esta estrutura pode ser dispensada. Por vezes, e em detrimento destas estruturas, utilizam-se equipamentos que fornecem a pressão necessária.
- Instala-se um tubo guia que conduz a manga desde o acesso ao sistema até ao início da tubagem a reabilitar.

- A manga invertida é fixada manualmente na entrada do tubo guia e ligada ao veículo de apoio. Juntamente com esta, é inserida uma mangueira que acompanhará a manga até à sua posição final.
- A água é introduzida na manga, fazendo com que esta consiga a inversão através da tubagem existente. A pressão da água comprime a manga contra as paredes, garantindo assim o perfeito ajuste às formas existentes.
- Logo que a inversão esteja completa (Fig. 15), acciona-se a circulação de água quente proveniente de uma caldeira e vazada pela mangueira que acompanha toda a manga. A água é vazada na extremidade cega da manga para que a água quente se difunda em toda a extensão. A taxa de calor é controlada de acordo com o exigido pelo regime de cura da resina.
- Durante o desenvolvimento do processo as temperaturas são monitorizadas em vários pontos da superfície da manga.
- Após a cura, a água é arrefecida gradualmente até que possa ser retirada.
- As extremidades do novo tubo são cortadas, deixando apenas alguns centímetros nas extremidades que garantem uma melhor estanqueidade.
- Se necessário, as ligações laterais são reabertas por uma fresa acoplada a um robô comandado remotamente.

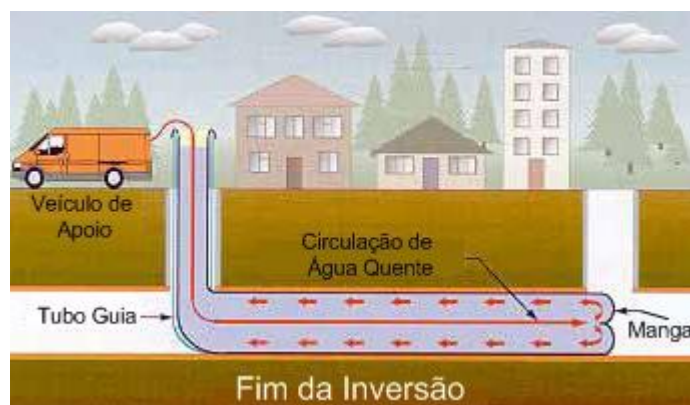


Fig. 15 – Fim da Inversão [6]

Alguns sistemas utilizam uma pré-manga que é instalada na conduta antes da inversão da manga impregnada com a resina que formará o novo revestimento da tubagem. Tem a função de tamponar as derivações impedindo que o excesso de resina as obstrua. Para além disso serve de barreira de protecção à cura da resina de água que se possa infiltrar.

Como alternativa ao processo de inversão, por vezes, instala-se a manga recorrendo a um sistema com cabos e guinchos que arrastam a manga ao longo da tubagem existente. O processo de inversão pode ser de difícil execução em certas ocasiões em que é necessário criar uma altura de água significativa para que com a pressão desta a manga se desenrole. No entanto, com recurso a equipamentos que combinam a pressão do ar e da água garante-se que a manga se estenda ao longo da conduta. Os sistemas de instalação por arrasto da manga são limitados ao peso e extensão da manga, bem como propícios à ocorrência de danos nas paredes da tubagem existente aquando da sua instalação.

Embora tradicionalmente se utilize a água quente para elevar a temperatura para causar a cura da resina, recentemente, algumas empresas introduziram um sistema que combina a inversão por ar comprimido e a elevação da temperatura através de vapor. Na generalidade utiliza-se um tambor de

inversão, onde a manga é desenrolada a partir deste e ao longo da conduta. O vapor é gerado por uma caldeira que aquece a manga em toda a sua extensão. Tanto o tambor como a caldeira estão acoplados a veículos de grande dimensão.

A grande vantagem deste sistema é que o revestimento não retrai após cura. Isto previne o potencial de infiltração entre as paredes da tubagem existente e o novo revestimento. Para além disso, o trabalho de vedação das derivações é reduzido.

#### 4.3.4.2. Cura com Luz Ultra-Violeta

Como uma alternativa para a cura com água quente, há sistemas que utilizam a luz ultravioleta que requer uma menor à superfície de apoio para execução da reabilitação

Nestes sistemas é frequente utilizar mangas à base de material em fibra de vidro ou através da combinação da fibra de vidro com um feltro em poliéster. Para protecção da manga e do revestimento é usual utilizar-se uma membrana protectora.

Na generalidade, o procedimento recorrendo a cura por luz ultravioleta é o seguinte:

- Após os trabalhos preparatórios, inspecção e limpeza, a manga impregnada com a resina é posicionado na tubagem existente por meio de arrasto ou por inversão
- A fonte de luz (Fig. 16) é inserida, fecham-se as extremidades da manga e insufla-se contra a parede.
- A manga é colocada sob pressão, usualmente 0,6 bar (6 m.c.a.). A manga transfere a pressão ao material de revestimento que é comprimido contra as paredes.
- A pressão constante, é movimentada a fonte de luz ultravioleta ao longo da manga com um movimento de velocidade controlada. Esta varia consoante as condições de temperatura durante a reacção química
- Assim que o processo de cura esteja concluído, recolhe-se a fonte de luz e retira-se a manga.



Fig. 16 – Fonte de Luz Ultravioleta [6]

Os tempos de cura variam entre 0,5 a 0,9 minutos/metro, e até extensões de 200 m é possível fazer-se uma reabilitação contínua. A gama de diâmetros varia entre os 100 e os 1000 mm, com revestimento entre os 3 até 15 mm de espessura.

#### 4.3.5.3. Cura Ambiente

Os sistemas por cura ambiente são utilizados principalmente na renovação de tubagens de pequenos diâmetros, incluindo condutas verticais, tais como tubos de queda. À semelhança dos sistemas de cura térmica, utilizam uma manga em feltro, contudo impregnada com resina de poliéster que cura sem a aplicação de calor.

Estes sistemas evitam a necessidade de caldeiras ou outra fonte de calor e, portanto, tendem a ser menos dispendiosos que os sistemas por cura térmica. Contudo têm como contrapartida um menor controlo das propriedades do revestimento final, o que se traduz numa solução bastante limitada. Não é aconselhável o seu uso para diâmetros superiores a 150mm nem para grandes extensões. Para além disso, todo o processo de impregnação da manga com a resina tem de ser realizado próximo do local de intervenção para evitar que a cura se inicie antes do devido posicionamento da manga na tubagem.

Por norma, o modo de execução dos trabalhos é o seguinte:

- Como a impregnação da resina é feita no local, as quantidades dos aditivos de aceleração de cura e endurecimento são doseadas dependendo das temperaturas e a velocidade da reacção.
- A impregnação da resina é realizada em obra, com a manga assente numa superfície rígida (geralmente os arruamentos existentes, desde que pavimentados). Como o sistema por vácuo não pode ser aplicado, então a aplicação da resina na manga tem que ser cuidada de forma a garantir que não se criam vazios.
- A manga é colocada por arrasto no interior na tubagem existente e insuflada por meio de ar comprimido ou de água, fazendo com que esta se adapte às paredes.
- Assim que a cura tenha ocorrido, retira-se a pressão e corta-se as extremidades da manga.
- No final, se necessário, restabelecem-se as ligações/derivações existentes.

Existem inúmeras variações sobre o procedimento acima descrito, incluindo cada vez mais a utilização de dispositivos que invertem a manga sob o efeito da pressão atmosférica.

Estes sistemas têm como grande vantagem o baixo custo, apresentando contudo uma grande limitação, tanto a nível de gama de aplicação, tanto na qualidade do resultado final.

#### 4.3.5. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – ESCOAMENTO SOB PRESSÃO

As características estruturais exigidas por um sistema em escoamento sob pressão e um sistema com escoamento em superfície livre são distintas. Se num sistema sob pressão as solicitações são interiores, num sistema com escoamento em superfície livre a solicitação condicionante, em geral, é externa devido ao carregamento das camadas de aterro e das cargas rolantes. Assim, nestes sistemas o mais preponderante é o módulo de elasticidade e a espessura das paredes.

As tubagens sob pressão, com excepção para os diâmetros reduzidos, raramente sofrem rotura devido aos carregamentos externos. Por norma, as principais solicitações são causadas pela pressão interna. Os principais defeitos são a corrosão e fugas nas ligações.

Por tal, a manga utilizada no encamisamento em tubagens sob pressão necessita de uma maior resistência à tracção em detrimento da resistência à flexão, ao contrário do que acontece em sistemas em superfície livre. Nestas situações é comum utilizar mangas em fibra de vidro ou em fibras de poliéster.

Mangas em poliéster são normalmente impregnadas com resina epoxy em detrimento da resina de poliéster, que produz uma completa adesão, formando uma barreira à passagem da água impedindo a

propagação da corrosão interna. Além disso, as resinas epoxy são apropriadas para o contacto com a água para o consumo humano.

O procedimento de instalação é similar ao que acontece em sistemas de drenagem com instalação da manga por inversão. No entanto, as mangas são menos densas devido à menor espessura de parede e aos diâmetros aplicados nos sistemas sob pressão. Por tal, é possível inverter a manga dentro da tubagem existente e insufla-la sem o auxílio de qualquer outra manga. A cura é obtida pela introdução de vapor de água na manga.

De uma forma geral, estes sistemas de reabilitação de condutas tiram proveito do confinamento das tubagens existentes para criar uma forma que resiste às pressões internas. Contudo, existem sistemas que a partir da interacção entre a resina, geralmente epoxy, e as fibras da manga criam uma tubagem independente capaz de resistir às pressões internas e às solicitações externas.

#### **4.4. ENTUBAMENTO (“SLIPLINING”)**

##### **4.4.1. INTRODUÇÃO**

Possivelmente a técnica mais simples de renovação de tubagens em redes que não permitem a entrada humana é o entubamento, que basicamente implica puxar ou empurrar uma tubagem nova ao longo da existente.

A sua aplicação generalizada teve início com o aparecimento de tubagens em plástico que permitem a ligação das varas por soldadura topo a topo ou por electrofusão através de uniões. Assim, teoricamente, é possível criar uma tubagem com qualquer comprimento pretendido.

Embora, em teoria, qualquer material possa ser utilizado para a nova tubagem, na prática, o polietileno é a escolha mais comum. Não só pela compatibilidade com o contacto com a água, mas também pela sua resistência à abrasão e flexibilidade que lhe permite descrever curvaturas durante a instalação.

A operação mais delicada neste sistema é o preenchimento do espaço anelar entre as tubagens. Por vezes é dispensável, contudo sempre que seja necessário garantir o confinamento e subsequentemente o aumento de resistência por solidarização entre as estruturas tem que se recorrer, em geral, a uma mistura entre bentonite e cimento que colmate o espaço vazio resultante.

O preenchimento do espaço anelar é realizado após instalação do novo tubo, e é conseguido através de injeção de uma argamassa. A injeção tem de ser cuidada para que esta não crie pressões excessivas que possam deformar o novo tubo e reduzir a secção de escoamento.

Devido a estes factores caminhou-se para outra solução idêntica, o revestimento com inserção apertada de tubagem deformada (“close-fit pipe”), descrita na secção 4.5 que anula o espaço anelar. Contudo o entubamento continua a ser uma opção bastante favorável em diversos casos.

## 4.4.2. APLICAÇÃO

A Tabela 7 sumariza as principais condicionantes em operações de reabilitação e distingue quais as possíveis de serem solucionadas com o entubamento.

Tabela 7 - Aplicação do Entubamento

Situação	Aplicabilidade	Comentário
Redes de drenagem (Esgoto)	Sim	Pode ser aplicado, contudo não é a solução mais favorável devido à redução do diâmetro
Redes de abastecimento de água	Sim	Desde que o material constituinte da nova tubagem esteja de acordo com as especificações para o material em contacto com a água
Redes de abastecimento de gás	Sim	
Condutas de produtos químicos ou industriais	Sim	
Diâmetros reduzidos	Sim	
Condutas com curvas	Sim	A aplicação é limitada, especialmente em grandes diâmetros. As curvatura limitam a extensão em que o tubo pode ser inserido
Secção circular	Sim	
Secção não-circular	Sim	Existe tubagem em polietileno que apresenta uma forma não circular, contudo não é usual.
Variação de secção	Possível	A dimensão da nova tubagem terá que ser inferior à da menor secção, ou a nova tubagem estar convenientemente capaz de reduzir de secção
Ligações laterais	Sim	Geralmente as ligações são previamente colocadas a descoberto. Também é possível restabelecer as ligações remotamente com fresas mecânicas acopladas a um robô, contudo é um processo bastante complicado.
Condutas com deformação	Possível (ver comentário)	Até deformações de 10% aceita-se um entubamento sem se recorrer ao reperfilamento da secção. Contudo a ovalização reduz a capacidade resistente aos carregamentos, bem como às pressões hidrostáticas, que devem se tomada em conta na concepção.
Escoamentos em pressão	Sim	
Condutas que permitem a entrada humana	Sim	Para tais situações, geralmente, torna-se demasiado dispendiosa, sendo adoptado outra solução.

#### 4.4.3. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES

As tubagens utilizadas no entubamento são, em geral, do mesmo tipo e seguem as especificações utilizadas em novas instalações. As tubagens em polietileno são usualmente destinadas a aplicações sob pressão interna, e os critérios de concepção e dimensionamento são os mesmos que em instalações novas. Também podem ser utilizadas tubagens de paredes delgadas (não estruturais) quando a solidarização com a tubagem existente garante a resistência necessária. Como é difícil de garantir que todo o espaço anelar seja preenchido, esta solução com paredes delgadas tem uma aplicação muito limitada.

O preenchimento do espaço anelar pode não ser necessário em sistemas com escoamento sob pressão, mas é fundamental em sistemas com escoamentos em superfície livre para garantir a rigidez estrutural para as solicitações externas. Em entubamentos nestas condições, a nova conduta é concebida de forma a estar confinada pela argamassa de preenchimento e a tubagem, sem estar em contacto directo com esta. Em muitos casos, a argamassa só apresenta a função de enchimento, não requerendo qualquer resistência estrutural. As soluções que dependem das condições de apoio conferidas pelo confinamento proporcionado pela tubagem existente e a argamassa são normalmente designadas por sistemas interactivos de renovação (“interactive lining techniques”).

Devido ao relativamente baixo módulo de flexão do polietileno, pode ser necessário uma espessura de paredes significativa de modo a suportarem as elevadas solicitações externas. Isto pode ser um factor preponderante em sistemas a grande profundidade ou sujeitos a pesadas cargas rolantes. Nestas situações poderá ser mais económico, utilizar uma argamassa que confira resistência estrutural, do que aumentar a espessura das paredes. Neste tipo de situações a argamassa de enchimento é o principal elemento estrutural.

Em todos os casos, as novas tubagens devem ser concebidas para resistirem não só às pressões internas e às solicitações externas, mas também às forças de tracção aquando da instalação, e à pressão gerada pelo material de enchimento do espaço anelar.

#### 4.4.4. TUBAGEM PARA ENTUBAMENTO

Como indicado acima, as tubagens usuais para entubamento são de polietileno, mas podem ser de qualquer outro material que possa ser inserido na conduta existente. O objectivo principal é que a redução do diâmetro seja a menor possível e que juntas ou ligadores não perturbem a introdução da tubagem.

Como já demonstrado, a falta de espaço à superfície é uma das limitações e um dos grandes motivos para a aplicação das tecnologias sem abertura de vala. Utilizando tubagens em polietileno é possível preparar um conjunto de varas previamente ligadas por soldadura topo a topo que permitem a introdução contínua de um grande comprimento de novas tubagens num curto espaço de tempo, minimizando o tempo de interrupção do serviço. Contudo devido à limitação de curvatura das tubagens, é necessário um longo poço de ataque onde as tubagens são introduzidas, particularmente com tubagens de grande diâmetro ou localizados a grande profundidade.

O procedimento de soldadura e respectivos cuidados tomados na instalação de tubagem com abertura de vala, são válidos para o entubamento, bem como todas as recomendações dos fabricantes das tubagens e equipamento.





Fig. 17 – Soldadura topo a topo



Fig. 18 – Pormenor da ligação da soldadura topo a topo

Desenvolvimentos nos E.U.A. apresentaram a fusão topo a topo em tubos de PVC. Isto permite que os tubos standard em PVC sejam aplicados da mesma forma que o tubo de polietileno, incluindo a possibilidade de aplicação no entubamento. O processo de soldadura requer um controlo cuidadoso da formulação da resina e das condições de soldadura.

Para além da soldadura é possível unir a tubagem com articulações aparafusadas ou com ligação por encaixe rápido (“snap-fit joint”). A primeira pode ser utilizada em diversos materiais tal como o polietileno, e permite uma rápida e eficaz conexão, sendo contudo, bastante onerosas. As tubagens ligadas por encaixe rápido não possibilitam ser puxadas para forças elevadas, e são normalmente empurradas a partir de um local de acesso por um sistema de hidráulicos.

Existem também juntas de ligação mecânicas com tamanhos adequados ao espaço disponível para a introdução de pequenos troços de tubagem a partir de locais de acesso à rede já existente, tal como as câmaras de visita. Contudo este tipo de ligação pode ser demasiado dispendiosa, tornando a solução com pequenos troços de tubagem de elevado custo.

#### 4.4.5. INSTALAÇÃO DA TUBAGEM

O entubamento pode ser realizado de duas formas, puxando ou empurrando a nova tubagem ao longo da existente. Se for por tracção é necessário utilizar uma cabeça de arrasto (Fig. 19) que é ligada à tubagem transmitindo a força conferida por um guincho. A cabeça de arrasto tem que assegurar uma ligação segura e uniforme à tubagem evitando que possa existir tensões concentradas que a danifiquem esta. É aconselhável tamponar-se as extremidades da tubagem de forma a prevenir que detritos se possam introduzir. Isto deve ser especialmente cuidado em situações de redes de abastecimento de água.



Fig. 19- Cabeças de Arrasto [9]

Para pequenos diâmetros pode-se utilizar outro tipo de dispositivo (Fig. 20), basicamente numa argola em aço que amarra a tubagem (“towing socks”), que tendem a diminuir a secção aquando do esforço de tracção para a instalação.



Fig. 20 – Argolas de Arrasto (“Towing Socks”) [9]

Para evitar que um excesso de esforço danifique toda a tubagem, pode ser instalado entre a cabeça de arrasto e o cabo de aço do guincho um conector (Fig. 21) que permite regular, através de parafusos, a tensão máxima a que este resiste, funcionando assim como um fusível. Se a tensão máxima for ultrapassada os parafusos que ligam as duas partes do conector quebram impedindo que a tensão se transmita à tubagem. Para além, disso estes conectores exigem que o operador tenha um grande cuidado na aplicação da força de tracção.



Fig. 21 – Conectores ("Fusível") [9]

Para pequenos troços a tubagem pode ser instalada manualmente, mas em geral é necessário o uso de um guincho. A força deve aplicar-se de forma constante e progressiva, sem variações bruscas. O posicionamento do guincho, bem como a trajectória do cabo devem ser cuidados com grande atenção, e se necessário recorrer-se a roldanas que ajustam o percurso evitando que possa existir qualquer obstrução, ou qualquer colisão que danifique o equipamento, a nova tubagem e até mesmo a tubagem existente.

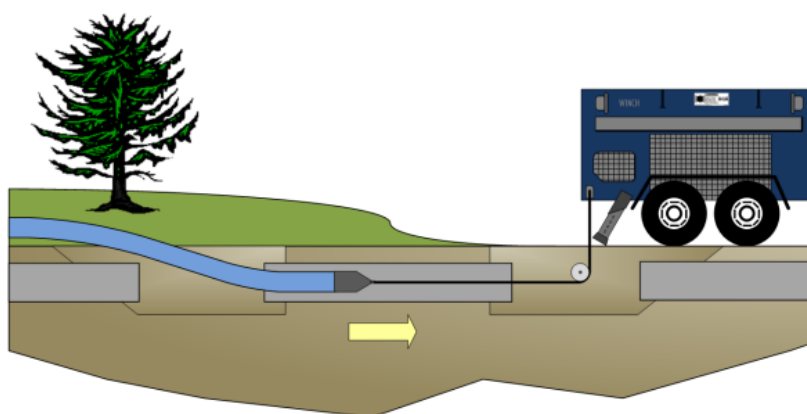


Fig. 22 – Entubamento [10]

Estão disponíveis diversos tipos de equipamentos para instalar tubagem por entubamento, de forma manual ou hidráulica. Alguns modelos são concebidos para operar dentro dos poços de ataque, enquanto outros operam à superfície por cima do poço de ataque.

#### 4.4.6. PREENCHIMENTO DO ESPAÇO ANELAR – ARGAMASSA DE ENCHIMENTO

Sistemas em que a nova tubagem actua simplesmente como molde à argamassa de preenchimento do espaço anelar, requerem uma argamassa com uma resistência à compressão entre 10 a 20 kPa.

Quando a tubagem nova está restrita pela existente, mas não carece da completa adesão entre estas, somente necessita de um material de enchimento que transmita as cargas entre estas. Para este propósito, é comum utilizar uma argamassa de argila (mistura de bentonite e cimento) que apresentam

uma resistência de cerca de 1 kPa. Mesmo não sendo necessário, é possível utilizar uma argamassa com maior resistência que não criará qualquer dano ao conjunto.

A mistura convencional utilizada é a de cimento Portland e cinzas pulverizadas de carvão (“Pulverised Fuel Ash”), contudo está disponível uma grande variedade de alternativas. De entre estas destaca-se uma argamassa com baixa viscosidade que escoar facilmente no espaço anelar para baixos níveis de pressão ou ligeiras inclinações, atingindo presa em cerca de 20 min.

As forças sobre a nova conduta geradas pela injeção do material de enchimento são por vezes superiores que as que ocorrem durante o período de serviço. Por tal deve-se evitar flutuações na injeção do material, ou seja, variações bruscas de pressão.

De forma a evitar danos é comum encher-se a nova tubagem com água durante a injeção, que contraria a pressão externa. Mesmo assim, por vezes é necessário proceder à injeção por fases, sobretudo em tubagens de grande diâmetro com escoamento em superfície livre que não permite grandes flutuações de pressão.

#### 4.4.7. DERIVAÇÕES E LIGAÇÕES LATERAIS

O restabelecimento das ligações ou derivações em intervenções que sofreram o entubamento usualmente necessitam de escavação localizada. É possível fazer uma abertura que atravessa a nova tubagem e a argamassa, e inserir um dispositivo que sela as ligações impedindo que a argamassa esteja em contacto com o interior das tubagens. Contudo, a complexidade desta operação só é justificada quando o acesso externo é demasiado difícil ou impossível, e esta operação só pode ser utilizada em tubagens de grande diâmetro. Anteriormente ao preenchimento do espaço anelar, devem-se desligar as derivações ou ligações existentes.

### 4.5. REVESTIMENTO POR INSERÇÃO APERTADA DE TUBAGEM DEFORMADA (“CLOSE FIT THERMO PLASTIC LINING”)

#### 4.5.1. INTRODUÇÃO

O uso de revestimentos por inserção de tubagem deliberadamente deformada antes da inserção, com posterior reposição da forma original após colocação, de modo a ficarem bastante justos dentro da tubagem existente corresponde à inserção apertada de tubagem deformada (“close-fit lining” ou “modified sliplining”). Esta técnica é o desenvolvimento lógico da técnica de entubamento descrita na secção anterior, e tanto pode ser aplicada a redes com escoamento em superfície livre ou escoamento sob pressão.

## 4.5.2. APLICAÇÃO

A Tabela 8 sumariza as principais condicionantes em operações de reabilitação e distingue quais as possíveis de serem solucionadas com a aplicação de tubagens deformadas.

Tabela 8 – Aplicação de Tubagens por Inserção Apertada

Situação	Aplicabilidade	Comentário
Redes de drenagem (Esgoto)	Sim	Pode ser aplicado, contudo não é a solução mais indicada
Redes de abastecimento de água	Sim	Desde que o material constituinte da nova tubagem esteja de acordo com as especificações para o material em contacto com a água
Redes de abastecimento de gás	Sim	
Condutas de produtos químicos ou industriais	Sim	Desde que o material da nova tubagem seja compatível com os químicos transportados
Diâmetros reduzidos	Sim	
Condutas com curvas	Sim	A aplicação é limitada, especialmente em grandes diâmetros. As curvaturas limitam a extensão em que o tubo pode ser inserido
Secção circular	Sim	
Secção não-circular	Sim	Aplicável sempre que a capacidade de reversão da tubagem permita.
Variação de secção	Possível	Aplicável para ligeiras variações
Ligações laterais	Sim	Geralmente as ligações são previamente colocadas a descoberto. Também é possível restabelecer as ligações remotamente com fresas mecânicas acopladas a um robô, contudo é um processo bastante complicado.
Condutas com deformação	Limitada	Aplicável a pequenas deformações
Escoamentos em pressão	Sim	
Condutas que permitem a entrada humana	Sim	Alguns sistemas são destinados a reabilitação de grandes diâmetros, contudo esta solução pode ser demasiado dispendiosa

## 4.5.3. PRINCÍPIO E CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS

O princípio deste método é utilizar tubagens em polietileno ou em PVC com um diâmetro externo original entre 3% a 5% superior ao diâmetro interior da tubagem e reduzir, temporariamente, o diâmetro de forma a inseri-lo na conduta existente. Assim que esteja correctamente posicionado, procede-se à reposição da sua forma e tamanho original para formar uma nova tubagem solidarizada com a existente. Este método pode ser classificado segundo:

- O método de redução diametral (Simétrico ou por Dobragem)
- O método de reversão da forma. (Natural, calor, pressão)
- O tipo de material (polietileno ou PVC)

A Tabela 9 sumariza os métodos existentes.

Tabela 9 - Métodos de Deformação de Tubagens

Método de Redução		Material	Ø Min (mm)	Ø Max (mm)	Classe de Pressão (bar)	Principal Aplicação
Simétrico	Tensão	PE80/100	75	1000	16	Pressão
	Compressão	PE80/100	100	500	10/16	Pressão
	Sem redução	PVC/MOPVC	100	900	10	Pressão
Dobra e Forma	Dobrado "in situ"	PE80/100	75	1600	6	Pressão
	Dobrado em Fábrica (calor)	PE80/100	100	500	10	Pressão e S.L.
		PVC	150	500	N/A	S.L.
			100	600	16	Pressão
	Dobrado em Fábrica (frio)	PE	100	300	N/A	Pressão
	Dobrado em Fábrica (calor)	PE reforçado com poliéster	70	200	10/16	Pressão

## 4.5.4. REDUÇÃO SIMÉTRICA

Este processo envolve a redução temporária do diâmetro de uma tubagem de polietileno que é empurrada ou puxada ao longo de uma prensa, que através da passagem por rolos sucessivos reduz o diâmetro da tubagem. A secção transversal é estreitada até a inserção da tubagem e posterior reposição. Este processo pode ser subdividido em sistemas que funcionam com base num esforço de tracção ou com base num esforço de compressão, dependendo de qual a fonte utilizada para deformar a tubagem.

Em sistemas baseados no esforço de tracção a tubagem é puxada da prensa directamente para a tubagem existente. A redução do diâmetro é mantida através da tensão criada pelo sistema de tracção. Assim que esteja posicionado, a tubagem é libertada do guincho permitindo que esta aumente de dimensão até ao seu diâmetro original ou até ficar ajustada com a tubagem existente. A Fig. 23 exemplifica um equipamento tipo utilizado na redução da tubagem.

Desenvolvimentos nessa técnica, introduziram o PVC para sistemas sob pressão com um diâmetro externo 10 a 20% menor que o diâmetro interior da tubagem existente. Após a inserção o tubo é expandido por calor e pressão até se ajustar. Durante o processo de expansão dá-se uma reformulação da orientação molecular que aumenta a capacidade resistente da nova tubagem.

Esta técnica pode ser aplicada para a completa renovação de um sistema sob pressão, bem como para revestimentos não-estruturais de paredes delgadas para a protecção contra a corrosão e colmatagem de fugas. Em geral, a gama de aplicação varia entre os 100 e os 600mm, permitindo descrever ligeiras curvas.

Este processo envolve a redução temporária do diâmetro de uma tubagem de polietileno através da passagem deste por um rolo compressor, de modo a que possa ser introduzido na rede existente e pressurizado posteriormente para recuperar as dimensões originais. Devido às limitações de redução dimensional que pode ser conseguida, esta técnica é mais adequada para redes sob pressão do que para redes de drenagem com irregularidades dimensionais.

Em sistemas que reduzem o diâmetro a partir da compressão, a tubagem é empurrada ao longo de apertados rolos circulares. A redução de diâmetro está associada ao aumento da espessura da parede, que é mantida até a reversão das dimensões por pressão da água no interior. Este facto permite que a redução e a introdução da tubagem possam ser realizadas em momentos e locais distintos.



Fig. 23 – Equipamento de Redução Simétrica [6]

#### 4.5.5. REDUÇÃO POR DOBRAGEM

Este sistema é usualmente designado por “Fold and Form Pipe”, e consiste na dobragem das tubagens com forma circular em tubagens em forma de “C” (Fig. 24) ou “U” (Fig. 25) para que possam ser instaladas nas tubagens existentes.

As tubagens que permitem a sua dobragem estão disponíveis para os dois tipos de escoamento, em que, o polietileno é aplicado em sistemas sob pressão e o PVC em sistemas com escoamento em superfície livre.

Em alguns sistemas a tubagem é dobrada em fábrica e fornecida em bobinas no local dos trabalhos. É então arrastada ao longo da tubagem existente. As tubagens em polietileno podem ser revertidas apenas por pressão, enquanto as tubagens em PVC necessitam de calor para que revertam até se ajustarem à tubagem. Estão disponíveis sistemas que permitem a dobragem das tubagens em

polietileno “in situ” com gamas de diâmetro até os 1600mm. As tubagens dobradas em fábrica estão disponíveis até diâmetros de 450mm.



Fig. 24 – Tubagem dobrada em forma de “C” [6]

Como alternativa à tubagem previamente dobrada em fábrica. Existe um sistema que realiza a dobragem “in situ” em tubagens de paredes delgadas puxadas ao longo equipamento que molda a forma desejada. Esta técnica utiliza tubagens de polietileno standard, que é introduzido na tubagem existente após a passagem num molde com a forma de “C” ou “U”. Para que a forma se conserve até que esteja instalado, a tubagem é amarrada nas extremidades com uma cintas, que são retiradas para que se revertam as dimensões. É possível instalar tubagens com comprimentos até 1000 m.

Antes da introdução, as tubagens de PVC são aquecidas para aumentar a flexibilidade, e, uma vez instalados, são aquecidas internamente de forma a criar uma temperatura uniforme ao longo do material. A reversão pode ser obtida progressivamente pelo avanço de um dispositivo semelhante aos dispositivos de limpeza tipo “PIG”, o seu movimento é accionado pela pressão exercida pelo vapor de água (Fig. 26). Ao longo da progressão o dispositivo expande a tubagem dobrada contra as paredes da conduta existente, e expulsa qualquer vazio que se possa ter formado entre as tubagens. Quando flexível, a tubagem moldasse às formas existentes, e usualmente forma uma cavidade nas ligações laterais. A tubagem é mantida sob pressão até que esta atinja o estado rígido, após isso, as extremidades são cortadas e as ligações laterais restabelecidas.

Uma instalação típica leva cerca de 5 horas para que seja totalmente executada. De notar que a infiltração de águas existentes no solo pode afectar a capacidade da tubagem se adaptar às formas existentes, e a aplicação de outra solução de reabilitação pode ser desejável nestas circunstâncias.



Fig. 25 – Tubagem de PVC  
(Esquerda, dobrada em “U”)  
(Direita, aspecto após adesão)

Estas tubagens em PVC estão disponíveis numa gama de diâmetro que varia entre os 100 e os 350 mm, e são feitas de um tipo de PVC modificado que permite a dobragem e a posterior reversão da forma. O grau de alteração varia muito entre produtos diferentes. Alguns apresentam um módulo de



flexão relativamente alto entre 2 e 2,5 MPa, enquanto outros produtos alterados só atingem valores entre os 0,9 e os 1,1 MPa, valores semelhantes ao do polietileno. Este facto deve ser tido em linha de conta na fase de concepção e dimensionamento.



Fig. 26 – Expansão da Tubagem em PVC [6]

Para renovação de sistemas de pequenos diâmetros com níveis de pressão adequados aos do polietileno, podem ser renovadas com recurso este material composto por ligas cruzadas (PE-X) que as propriedades incluem o efeito de “memória” da forma. Este permite uma redução considerável (até 25%) do diâmetro inicial, o que possibilita passagem deste em zonas exíguas, tais como ligações ou derivações defeituosas. Para além disso, estes podem ser enrolados em bobinas e fornecidos em comprimentos consideráveis.

Após a inserção, a tubagem é aquecida utilizando um dispositivo que liberta ar quente, activando a “memória” da forma e fazendo com que esta se reverta até ao tamanho original. A tubagem expande, moldando-se às formas existentes, assim como a ligações ou outras intrusões que possam existir. Isto permite que todos os pontos de derivação da rede possam ser posteriormente ligados convenientemente através de acessórios electrossoldáveis.

Em renovação de redes de distribuição de água, os sistemas disponíveis compreendem a utilização de uma tubagem tipo “manga” de poliéster. Esta tubagem flexível é dobrada em forma de “C” antes de ser inserida na conduíte a reabilitar e insuflada com recurso a vapor de água a baixa pressão. No final do processo obtém-se uma fina parede que reveste a tubagem existente, que pode suportar pressões até 23 bar (230 m.c.a.) em função do diâmetro em questão. A gama de aplicação varia entre diâmetros de 70 a 200 mm, e comprimento de instalação até 200 m. Este sistema permite descrever ligeiras curvaturas.

#### 4.6. REVESTIMENTO EM ESPIRAL (“SPIRAL WINDING LINING”)

##### 4.6.1. INTRODUÇÃO

O processo de aplicação de revestimentos em espiral inclui os métodos de aplicação de revestimentos “in situ” ou até mesmo da construção de um novo tubo. Geralmente, o acesso é realizado por locais já existentes, tais como, câmaras de visita, que reduzem ou eliminam a necessidade de escavação para se aceder à rede. Por norma, as faixas que irão formar o revestimento são em PVC fornecidas em bobinas (Fig. 27). De forma a aumentar a sua rigidez, a faixa em PVC são nervuradas com elementos metálicos em forma de “T” como exemplificado na Fig. 28. Em alguns sistemas a conexão entre as sucessivas faixas helicoidais é através de engates automáticos que garantem a estanqueidade da junta, enquanto outros sistemas necessitam de aplicação de um revestimento no local da união para que esta se torne impermeável.



Fig. 27 - Bobina em PVC [11]

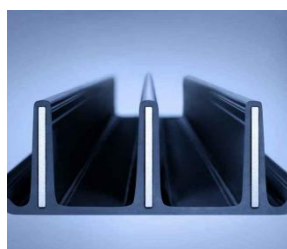


Fig. 28 - Corte Transversal da Banda de Revestimento em PVC [11]

Este tipo de técnica pode ser visto como a mistura e melhoramento de duas técnicas já descritas neste trabalho. Numa primeira análise pode ser visto como um entubamento em que o revestimento em espiral é inserido na tubagem existente e o espaço anular é preenchido com argamassa. Em segundo, esta técnica pode ser vista como uma inserção apertada de uma tubagem deformada, em que o revestimento pode se ajustar por completo à forma da conduta a reabilitar.

Existem dois métodos de instalação que podem ser aplicados. Um utiliza um equipamento que forma o revestimento com a forma da tubagem existente, enquanto a alternativa é feita manualmente em redes que permitem o acesso humano. Por norma, o primeiro aplica-se em tubagem de diâmetros reduzidos, não implicando que não possa ser aplicada em tubagens de maior diâmetro. Por tal a sua gama de diâmetros varia entre os 150 e os 1800 mm, enquanto no método manual a gama varia entre 1200 e 3600 mm.

Desenvolvimentos recentes introduziram faixa em polietileno em detrimento do PVC. Após conectadas, as junções entre bandas são electrossoldadas garantindo uma alta resistência à água. As bandas são reforçadas com elementos em aço que são introduzidos dentro do polietileno.

#### 4.6.2. INSTALAÇÃO MECÂNICA

Neste método o revestimento é inserido na tubagem existente através de um equipamento de funcionamento hidráulico, usualmente posicionado numa câmara de visita ou num pequeno local de acesso previamente escavado, como se vê na Fig. 29. O revestimento é inserido de forma helicoidal, estando o seu comprimento máximo limitado à fricção entre este e as paredes e ao peso de revestimento que o equipamento consegue rodar. Para se atenuar estes efeitos recorre-se à flutuação do revestimento.



Fig. 29 - Equipamento de Inserção [12]

Existe uma alternativa de equipamento de inserção. Este percorre a tubagem simultaneamente com a colocação do revestimento, o que elimina o problema da capacidade máxima de revestimento capaz de rodar. Este equipamento tem como grande vantagem a capacidade de reproduzir vários tipos de forma, ajustando-se por completo às paredes da tubagem existente. Este é capaz de revestir secções ovais e até mesmo secções rectangulares. As Fig. 30 e Fig. 31 exemplificam um equipamento tipo utilizado.



Fig. 30 - Equipamento de Inserção com Avanço (dentro da tubagem)



Fig. 31 - Equipamento de Inserção por avanço (fim da tubagem)

Após a instalação o espaço anelar é preenchido da mesma forma que no entubamento, em que as nervuras proporcionam uma perfeita adesão e transmissão de esforços entre a nova e a tubagem deteriorada.

#### 4.6.2.1. INSTALAÇÃO MECÂNICA APERTADA

Alguns sistemas de instalação mecânica de revestimentos em espiral aplicados em sistemas de drenagem em superfície livre, possibilitam a introdução de uma tubagem que expande devido ao movimento de rotação, e se ajusta à tubagem existente. Durante a instalação, e devido a um sistema de bloqueio, a tubagem é somente desenrolada ao longo da conduta existente. Assim que esteja posicionada, o equipamento continua com o movimento de rotação que faz com que os sistemas de engates e patilhas se encaixem, desenrolando a tubagem, ou seja, aumentando o diâmetro até que se adapte às paredes da tubagem existente. A Fig. 32 esquematiza o modo de instalação de tubagem em espiral.

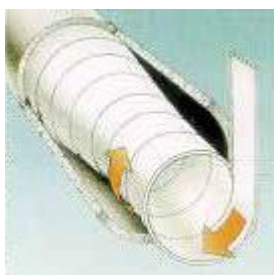


Fig. 32 - Instalação Mecânica em Espiral Apertada [6]

Tal como acontece com outros sistemas em espiral, este permite que durante a instalação, caudais reduzidos se possam escoar no espaço entre a parede interior da tubagem e a parede exterior do revestimento, dispensando a necessidade de bombagem ou derivação de afluentes. Após a instalação e adesão do revestimento às paredes é essencial que se sele o espaço anelar, bem como as ligações de forma a obter um sistema estanque.

As propriedades estruturais do revestimento são concebidas em função do próprio método de aplicação, contudo, em geral, estes apresentam uma resistência reduzida aos carregamentos externos

#### 4.6.3. INSTALAÇÃO MANUAL

Os revestimentos aplicados manualmente utilizam material semelhante ao empregado na instalação mecânica, sendo concebidos para uma fácil aplicação em diâmetros de grandes dimensões.



Fig. 33 - Revestimento em Espiral com Instalação Manual [13]

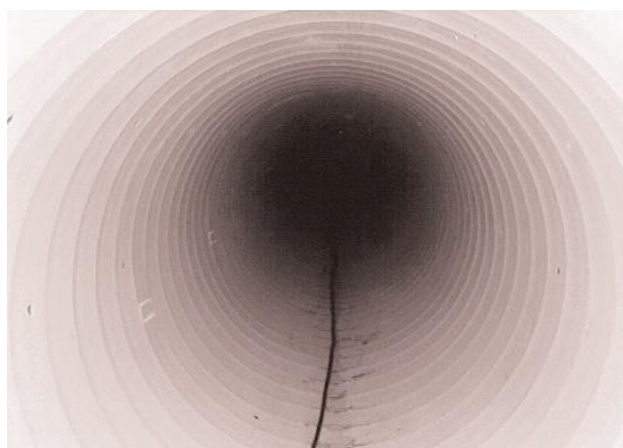


Fig. 34 - Aspecto Final do Revestimento em Espiral [13]

As bandas em PVC são introduzidas pelo local de acesso (e.g. câmara de visita) a partir da superfície juntamente com as juntas para selar as uniões. Os operadores moldam manualmente o revestimento adequado ao diâmetro, bem como à forma da secção, inserindo as bandas em espiral à medida que avançam (Fig. 33). A vantagem deste sistema é que permite corrigir ou diminuir qualquer defeito ou deformação que a tubagem possa apresentar, o que facilitará o processo de enchimento do espaço anelar. No final da operação, as condutas reabilitadas apresentam um aspecto semelhante ao da Fig. 34

## 4.7. REVESTIMENTOS SECCIONAIS

### 4.7.1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos seccionais são, em geral, tomados como um entubamento descontínuo em tubagens que permitem a intervenção humana no seu interior, e consistem na introdução de secções de revestimento pré-fabricadas e ligadas “in situ”.

Geralmente são aplicados em sistemas de drenagem com um diâmetro mínimo, que varia consoante o país e legislação estabelecida para a dimensão mínima que permite a entrada humana. Contudo na grande parte dos casos a gama varia entre 825 e 6400mm, com espessuras de paredes desde 10 até 30 mm, e comprimentos que variam entre os 0,5 e os 1,5 m. Os revestimentos utilizados são do tipo WRc tipo I ou WRc tipo II, que permitem adaptar-se a qualquer forma.

As dimensões acima sugeridas são, em muitos casos, simples exemplo de produtos existentes. Consoante o fabricante é possível ter-se uma imensa variedade de formas, tamanho de secção, e comprimentos, bem como troços pré-fabricados que se ajustam a curvas ou outras anomalias. Para além da frequente aplicação em redes de drenagem, existem revestimentos aplicáveis a sistemas sob pressão, e neste tipo de situação, são geralmente aplicados condutas elevatórias.

Este método tem como grande desvantagem a limitada gama de aplicação, bem como a duração extensa dos trabalhos. Para além disso, por vezes, a redução de secção reduz a capacidade de vazão em relação à situação anterior à intervenção.

Neste tipo de intervenção devem ser tomadas rigorosas medidas de segurança, fomentando a formação e sensibilização dos intervenientes para possíveis situações de acidentes, bem como estabelecimento de escapatórias, saídas alternativas e locais de ventilação.

### 4.7.2. MATERIAL

Os troços de tubagem são usualmente construídos em betão reforçados com fibra de vidro, plástico reforçado com fibra de vidro ou argamassa de polímero reforçada. Os troços são instalados e ligados ao longo do comprimento da tubagem. Após a instalação, e como acontece no entubamento e no revestimento em espiral, o espaço anelar é preenchido com argamassa.

Até mesmo os troços de tubagem podem ser divididos, dependendo das dimensões, peso e condições de acessibilidade, com este a ser dividido em secções horizontais ou verticais de forma a permitir/facilitar a execução dos trabalhos. A Fig. 35, Fig. 36, Fig. 37 e Fig. 38 esquematizam as fases de intervenção de revestimentos seccionais.





Fig. 35 - Troços de Tubagem de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro



Fig. 36 - Instalação



Fig. 37 - Preenchimento do Espaço Anelar



Fig. 38 - Aspecto após Intervenção

#### 4.7.3. EQUIPAMENTOS

Para este processo é necessário mobilizar uma quantidade significativa de equipamentos, necessários para o movimento no local de obra (à superfície e dentro da tubagem), equipamento para mistura e injeção do material de enchimento do espaço anelar e equipamento de acessibilidade e segurança. Isto implica a necessidade de mão-de-obra especializada, devidamente habilitada para trabalhar em espaços confinados.

#### 4.7.4. LIGAÇÕES E CURVAS

Tal como acontece em todas as tecnologias de reabilitação, no final do trabalho de reabilitação da conduta, e se necessário, têm que se restabelecer as ligações. Para tal pode-se utilizar material de ligação e impermeabilização pré-fabricado.

Como já referido neste trabalho, as curvas podem ser realizadas com troços de tubagem construídos em fábrica. Contudo é uma operação delicada, que requer um trabalho minucioso de planeamento e controlo para que possa ser executada correctamente. Em situações de curvaturas ligeiras é possível aplicar material flexível, ou munidos no sistema de união de ajustes de direcção.



## 5

## TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DESTRUTIVAS

## 5.1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de reabilitação destrutivas utilizam o curso da tubagem existente para a instalação da nova tubagem. A Tabela 10 indica um modo como as tecnologias disponíveis podem ser classificadas.

Tabela 10 - Técnicas de Reabilitação Destrutivas

Operação tipo	Material do Tubo	Técnica
Tubo existente Destruído	Resíduos permanecem no solo	Tubos Frágeis Rebentamento de Tubagens - ("Pipe Bursting")
		Tubos Dúcteis Fraccionamento de Tubagens - ("Pipe Splitting")
	Remoção dos resíduos	Maioria (Inclui tubos reforçados) Destruição de Tubagem - ("Pipe Eating") Fresagem de Tubagem - ("Pipe Reaming")
Tubo existente extraído/removido	Chumbo e alguns Plásticos	Extracção e Ejecção de tubagens - ("Pipe Extration/Ejection")

Antes da descrição das técnicas de reabilitação far-se-á uma ligeira abordagem aos métodos de instalação de conduitas sem recorrer à abertura de valas. Estas serviram como base de partida para as técnicas de reabilitação. Essas técnicas são listadas de seguida:

- Perfuração por Percussão não Dirigida ("Impact Moling")
- Perfuração Horizontal Dirigida ("Horizontal Directional Drilling")
- Cravação de Tubagens ("Pipe Jacking")
- Perfuração Pneumática e Micro-Túneis ("Thrust Auger Boring" e "Microtunnelling")

## 5.2. TÉCNICAS DE INSTALAÇÃO DE CONDUTAS SEM RECURSO À ABERTURA DE VALA

Estas técnicas são aplicadas com alguma frequência em Portugal, particularmente no atravessamento de estruturas em aterro, cursos de água, zonas de relevo acentuado, etc. Estas estão na génese das técnicas de reabilitação destrutivas.

### 5.2.1. PERFURAÇÃO POR PERCUSSÃO NÃO DIRIGIDA (“IMPACT MOLING”)

A perfuração por percussão é definida como a abertura de um furo horizontal através de uma ferramenta que compreende um martelo de percussão, geralmente de forma cónica. O martelo pode ser de activação hidráulica ou pneumática. Nesta técnica a direcção do furo é simplesmente conseguida através da orientação por uma mira instalada no local de início que visa um alvo no local de chegada. Durante o funcionamento, o solo é comprimido, e não removido. Num solo adequado, é possível executar-se o furo sem necessidade de escoramento ou força de reacção, sendo a tubagem instalada em simultâneo com a perfuração. A gama de diâmetros varia entre os 20 e os 200 mm. [14]



Fig. 39 - Perfuração por Percussão não Dirigida [14]

### 5.2.2. PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRIGIDA (“HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING”)

Esta técnica aplica-se na instalação de tubagens em que o traçado da perfuração não é rectilíneo, permitindo o contorno de obstáculos. Este processo compreende duas etapas, inicialmente faz-se um furo piloto ao longo do traçado previsto, que depois é alargado no sentido inverso com a dimensão da tubagem a instalar. Na segunda etapa, a de alargamento, a tubagem a instalar é unida ao alargador por uma articulação, e é puxado à medida que o furo é alargado. Por norma, injecta-se bentonite no furo piloto para que este se mantenha estável. A gama de diâmetros varia entre os 60 e os 1200 mm, e o material a instalar pode ser em aço e polietileno, permitindo comprimentos de perfuração até 2000 m.



Fig. 40 - Perfuração Horizontal Dirigida [14]

### 5.2.3. CRAVAÇÃO DE TUBAGENS (“PIPE JACKING”)

Neste processo a conduta é cravada através de impulsos sucessivos transmitidos pelo equipamento de accionamento hidráulico. A conduta é constituída por pequenos troços continuamente introduzidos no solo, que devidamente ligados entre si irão formar a conduta final com o comprimento pretendido. Devido ao esforço gerado pelo sistema de cravação para vencer o atrito gerado entre as paredes do tubo e o solo, o material a empregar deverá ser altamente resistente a tais solicitações, sendo o aço o material mais utilizado.



Fig. 41 - Cravação de Tubagens [14]

O solo remanescente no interior da conduta é retirado através de um sistema de ar comprimido ou água a alta pressão ou até mesmo a conjugação destes. A gama de diâmetros varia entre os 150 mm e os 4000 mm, sendo o comprimento máximo condicionado pelas condições de solo existente.

### 5.2.4. PERFURAÇÃO PNEUMÁTICA E MICRO-TÚNEIS (“THRUST AUGER BORING” E “MICROTUNNELLING”)

Estas duas técnicas são muito semelhantes, sendo a segunda a mais sofisticada, resultando da aplicação do conhecimento na abertura de túneis.

A perfuração pneumática recorre a um parafuso “sem-fim” para cortar o solo e arrasta-lo ao longo da conduta para um local onde possa ser retirado. Este método também junta ao movimento de rotação do parafuso o movimento de translação, semelhante ao da cravação de tubagens, que impulsiona a tubagem contra o solo. Por norma, esta tubagem serve somente como forra a outra tubagem que será instalada no interior desta. Neste método a tubagem é, geralmente, em aço e composta por troços de 6 m soldados topo a topo. A direcção da tubagem é dada pelo alinhamento da soleira onde está instalado o equipamento. A gama de diâmetros varia entre os 100 e os 1000 mm com comprimentos até 100 m. A Fig. 42 ilustra um equipamento de perfuração pneumática em funcionamento.



Fig. 42 - Perfuração Pneumática [15]

A abertura de micro-túneis recorre a equipamentos mais sofisticados que podem ser operados à superfície e permitem a mudança de direcção da perfuração. O equipamento é semelhante ao empregado em túneis de grandes dimensões. Comparativamente com a perfuração pneumática, esta técnica é mais vantajosa na medida em que não necessita de poços de grandes dimensões para se instalar a tubagem. A gama de diâmetros varia entre os 100 e os 1200 mm, podendo ser em aço, betão ou plástico reforçado com fibra de vidro. Como se verifica na Fig. 43 a tubagem é constituída por pequenos troços que vão sendo empurrados à medida do avanço da perfuração.

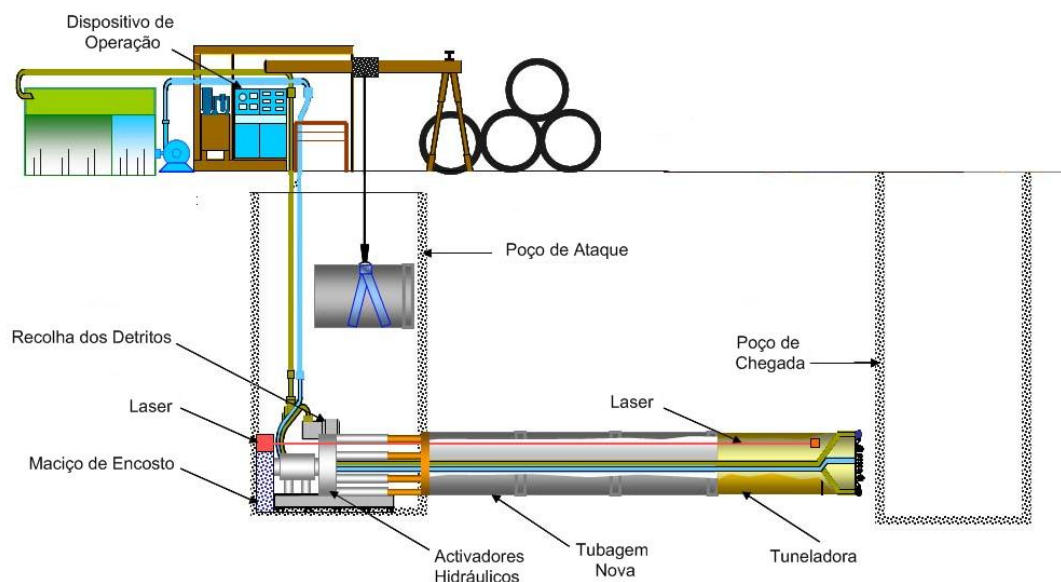


Fig. 43 - Esquema de Execução de Micro-Túneis [16]

### 5.3. REBENTAMENTO (“PIPE BURSTING”)

#### 5.3.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento desta tecnologia iniciou-se nos anos 80, com o objectivo de substituir as tubagens de gás em ferro. Após isso foi também aplicada na reabilitação dos sistemas de distribuição de água no Reino Unido na substituição de tubagens em ferro de pequenos diâmetros, detendo actualmente um mercado em crescimento em todo o mundo. [17]

Inicialmente esta técnica compreendia o uso de um instrumento de percussão (normalmente um martelo de impacto modificado) ou uma cabeça expansiva hidráulica para rebentar a tubagem existente simultaneamente com a instalação de uma nova tubagem. Empregando o equipamento adequado, o tamanho original do tubo pode ser aumentado para uma certa medida conseguindo-se um aumento da capacidade de transporte do novo sistema. No entanto, recentemente tem havido uma mudança significativa a partir destes sistemas para aqueles que somente actuam com a força de tracção agindo sobre uma cabeça de rebentamento, este sistema é referido como o rebentamento estático “Hydraulic Rod Bursting”.



Fig. 44 - Rebentamento de Tubagens (Solução Inicial) [17]

Para além da grande aplicação em linhas de abastecimento de água e gás, o rebentamento de tubagens está a tornar-se uma das tecnologias mais aplicadas na substituição dos antigos e subdimensionados colectores de drenagem. Tem sido possível um aumento significativo da secção do tubo, assim como, a instalação de tubos em plástico de 600 mm de diâmetro através de um já existente em betão com um diâmetro de 375 milímetros. As operações típicas de rebentamento de redes de drenagem situam-se numa gama de diâmetros entre os 150 e 375 mm. Contudo foi já instalada uma tubagem com 900 mm de diâmetro e rebentada uma outra com 1200 mm de diâmetro.

Quanto à tubagem existente, o material passível de ser rebentado tem de ser frágil, tal como, o ferro fundido, o fibrocimento, o grés-cerâmico ou alguns plásticos. Outros materiais com maior rigidez ou ductilidade, como é o caso do aço ou do ferro fundido dúctil, têm que ser substituídos recorrendo a outro método, como por exemplo o fraccionamento das tubagens (“Pipe Splitting”).

Devido à expansão é necessário inicialmente efectuar a retirada das ligações laterais, tais como ramais domiciliários; ligação a outras conduitas; derivações; etc.. Embora estejam disponíveis equipamentos controlados remotamente que permitem a separação dessas ligações, o método mais usual recorre à

abertura de um pequeno cabouco que permite o acesso directo para realizar a suspensão e posterior ligação. O número e a frequência das ligações laterais podem ser um factor decisivo na avaliação económica da técnica de substituição sem recurso à abertura de vala em comparação com os métodos tradicionais de instalação.

As condições desfavoráveis para a aplicação do rebentamento das tubagens acontecem em caso de:

- Presença de solos expansivos.
- Obstruções existentes ao longo da conduta na forma de completo colapso da estrutura.
- Pontos de reparações com materiais dúcteis.
- Locais de protecção da tubagem com betão
- Grande frequência de ligações laterais (ramais, derivações, etc)

Para além disso, deve ser tida em grande atenção a detecção de outros serviços enterrados de forma a evitar que ocorram acidentes, bem como, a selecção do pessoal interveniente.

### 5.3.2. REBENTAMENTO PNEUMÁTICO (“PNEUMATIC PIPE BURSTING”)

O rebentamento pneumático é um tipo de rebentamento utilizado com grande frequência até à data de hoje, aplicada em grande parte dos projectos de rebentamento de tubagens em todo o mundo. [18]

Nesta técnica, a cabeça de rebentamento é um martelo pneumático em forma de cone que se desloca ao longo da tubagem impulsionado por ar comprimido, e diferindo entre 180 a 580 pancadas por minuto.

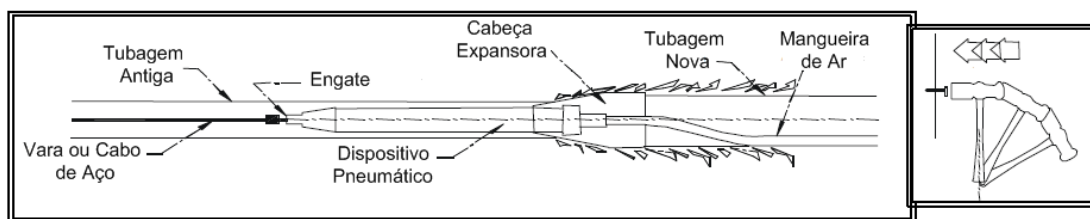


Fig. 45 - Cabeça de Rebentamento Pneumática [18]

A acção precursora da cabeça é semelhante ao martelar um prego numa parede, onde cada impacto empurra o prego uma pequena distância para dentro da parede. De forma semelhante, a cabeça de rebentamento cria continuamente pequenas fracturas que despedaçam a tubagem existente. A acção de percussão é combinada com a tracção do guincho, através de um cabo de aço que é inserido ao longo da conduta ligado ao topo da cabeça de rebentamento. Esta força mantém a cabeça de rebentamento pressionada contra a parede da tubagem existente, e arrasta a nova tubagem juntamente com a cabeça.



Fig. 46 - Exemplos de Cabeças de Rebentamento Pneumático [17]

A pressão do ar necessária para a precursão é fornecida a partir de um compressor de ar, e transmitida por uma mangueira que faz a ligação até à cabeça de rebentamento. Tanto o valor da pressão do ar, bem como a força de tracção são mantidos constantes ao longo da operação. Este processo requer uma pequena intervenção humana enquanto o equipamento avança ao longo da conduta a reabilitar.

### 5.3.3. REBENTAMENTO HIDRÁULICO (“HYDRAULIC PIPE BURSTING”)

O sistema de rebentamento por activação hidráulica apresenta como grande vantagem relativamente ao sistema pneumático, a de não ser tão susceptível de causar danos em infra-estruturas na sua vizinhança, tais como, tubagens, fundações, pavimentos. Este sistema utiliza uma cabeça de rebentamento com maxilas que abrem e fecham sob activação hidráulica. Estas são menores que os martelos pneumáticos permitindo utilizar câmaras já existentes, dispensando a necessidade de escavação de poços de ataque e chegada para acesso dos equipamentos. Geralmente, esta técnica tem maior aplicação em sistemas de drenagem de água do que em sistemas sob pressão, tendo sido já instaladas condutas com 1000 mm de diâmetro. Existe também um equipamento de pequenas dimensões que rebenta tubagens até diâmetros de 150 mm, e que pode ser utilizado em locais de difícil acesso.

Nesta técnica, em primeiro lugar a conduta existente é rebentada pela expansão da cabeça, sendo de seguida a tubagem nova empurrado pelo sistema hidráulico enquanto a cabeça é traccionada por um tirante que garante a direcionalidade da progressão. O processo é repetido, acrescentando novos tubos até perfazer o comprimento pretendido. A nova tubagem é ligada a um dispositivo que serve de protecção e união à cabeça de rebentação.

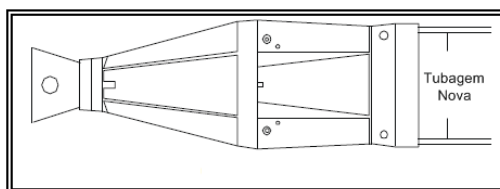


Fig. 47 - Cabeça de Rebentamento Expandida [18]

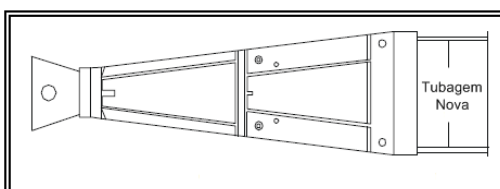


Fig. 48 - Cabeça de Rebentamento Contraída [18]

Para além de ser possível soldar tubagens em Polietileno topo a topo o que permite criar tubagens contínuas de comprimentos consideráveis, o usual neste tipo de técnica é utilizar-se pequenos troços de tubos em Polietileno ligados por articulações de parafusos que permite a sua união dentro das



câmaras existentes. São também utilizados tubos cerâmicos que possibilitam a reabilitação de redes de drenagem com materiais convencionais. Estes são reforçados com anéis em aço inox nas uniões aumentando a sua resistência ao corte, à semelhança da tubagem utilizada em micro-tunéis, contudo com uma menor espessura de parede.

#### 5.3.4. REBENTAMENTO ESTÁTICO (“HYDRAULIC ROD BURSTING” OU “STATIC PULL”)

No sistema de rebentamento estático, a força para quebrar a tubagem existente é apenas garantida pela tracção exercida na cabeça de rebentamento. Esta é puxada através de um conjunto de varas ou por meio de um cabo de aço, que é inserido ao longo da tubagem existente. A força de tracção aplicada no rebentamento é significativa, de forma a garantir que se rebente a tubagem existente e se crie espaço para instalação do novo tubo.

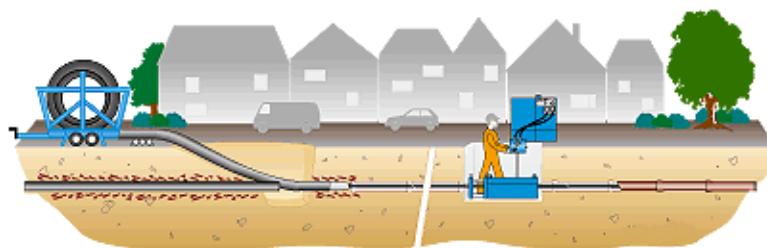


Fig. 49 - Rebentamento Estático [14]

Se o cabo de aço for o meio de transmissão da força de tracção à cabeça de rebentamento, então a instalação da nova tubagem é contínua. Por outro lado se o meio de transmissão da força for pelo conjunto de varas, então a instalação é descontínua, tendo de se interromper o processo sempre que seja necessário desligar uma vara do conjunto, o que normalmente ocorre com intervalos de 1 m (comprimento standard das varas). Para além de terem a desvantagem da interrupção do processo sempre que se avança o comprimento de uma vara, é o meio mais utilizada, que ao contrário do cabo de aço, é de simples instalação ao longo da tubagem existente, ultrapassando obstruções que possam existir.

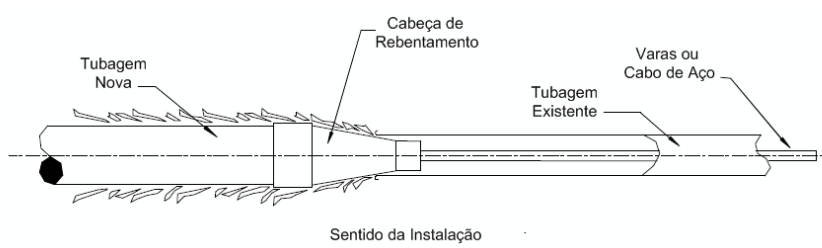


Fig. 50 - Pormenor do Rebentamento Estático [18]

#### 5.4. FRACCIONAMENTO DE TUBAGEM (“PIPE SPLITTING”)

Esta técnica é utilizada para destruir tubagens de materiais não frágeis, tais como o aço, o PVC, o polietileno, o aço inoxidável ou o ferro fundido dúctil. O sistema é semelhante ao do rebentamento estático, diferindo o meio de destruição da tubagem. Neste processo utiliza-se um “divisor” em detrimento da cabeça de rebentamento. O “divisor” corta a parede da tubagem ao longo da linha da soleira, e expande-a contra os solos circundantes. Tal como no rebentamento, o divisor é puxado ao



longo da tubagem por meio de um cabo em aço ou por um conjunto de varas. O divisor é constituído por três partes:

- Um par de roletes de corte que realizam o primeiro corte,
- Uma lâmina em forma de vela que prolonga o corte da tubagem
- Um expansor que empurra a tubagem na direcção dos solos circundantes, e que devido à sua forma cónica garante o alinhamento e centralidade do conjunto.

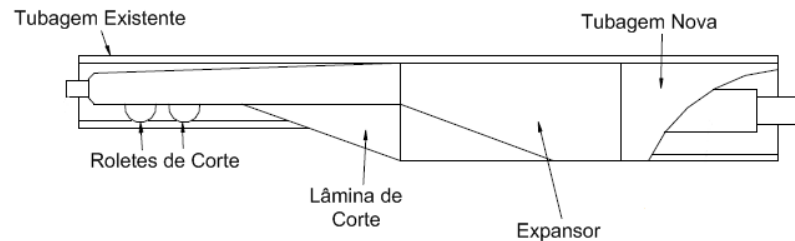


Fig. 51 - "Divisor" [18]

A superfície do expansor é lisa de forma a evitar que se gerem forças de atrito significativas, que possam causar forças de tracção elevadas ou até mesmo o arrastamento da tubagem existente juntamente com o dispositivo de corte. A nova tubagem é protegida e ligada ao expansor, sendo esta instalada simultaneamente com o corte da tubagem. Após a passagem do divisor, o remanescente da tubagem existente serve como um forro para a nova conduita.

### 5.5. DESTRUIÇÃO DE TUBAGEM ("PIPE EATING")

Este sistema parte dos sistemas de micro-tunéis, adaptado para a substituição de tubagens. A tubagem existente é esmagada e removida ao longo da nova conduita por meio de um sistema de rotação. A nova tubagem é instalada em simultâneo com a progressão do equipamento. Esta pode seguir o alinhamento existente, bem como corrigir ou mudar a sua trajectória se necessário. O equipamento é orientado à distância com um sistema a laser que controla a direcção de progressão. O equipamento está preparado para destruir a maioria do tipo de material que encontre na sua trajectória, quer seja conduita existente ou terreno envolvente, bem como, para permitir um aumento de dimensão da nova conduita.



Fig. 52 - Equipamento de "Pipe Eating" [17]

O sistema é constituído pela cabeça de corte e por um componente blindado de protecção. A cabeça de corte possui dentes de corte e roletes que destroem a tubagem existente, e lâminas de corte junto à blindagem que cortam o solo, se necessário, no tamanho da tubagem a instalar. A blindagem protege o sistema hidráulico que confere o movimento de rotação e translação ao equipamento. Alguns equipamentos também actuam com o movimento de precursão, que auxilia e potencializa a destruição das tubagens.

## 5.6. FRESAGEM DE TUBAGEM (“PIPE REAMING”)

A reabilitação de condutas por fresagem é, à semelhança do “Pipe Eating”, a alteração de uma técnica de instalação de condutas sem abertura de vala, particularmente a perfuração horizontal dirigida. Inicialmente a broca piloto é inserida na tubagem existente. De seguida, o dispositivo de fresagem é ligado à broca e traccionado juntamente com a nova tubagem ao longo da existente no sentido inverso ao da inserção. O dispositivo de fresagem possui dentes de corte que trituram o material. Os detritos das tubagens, bem como o material resultante de um possível aumento de tamanho, são transportados juntamente com o fluido da perfuração até aos pontos de acesso, onde são recolhidos por bombagem ou vácuo.

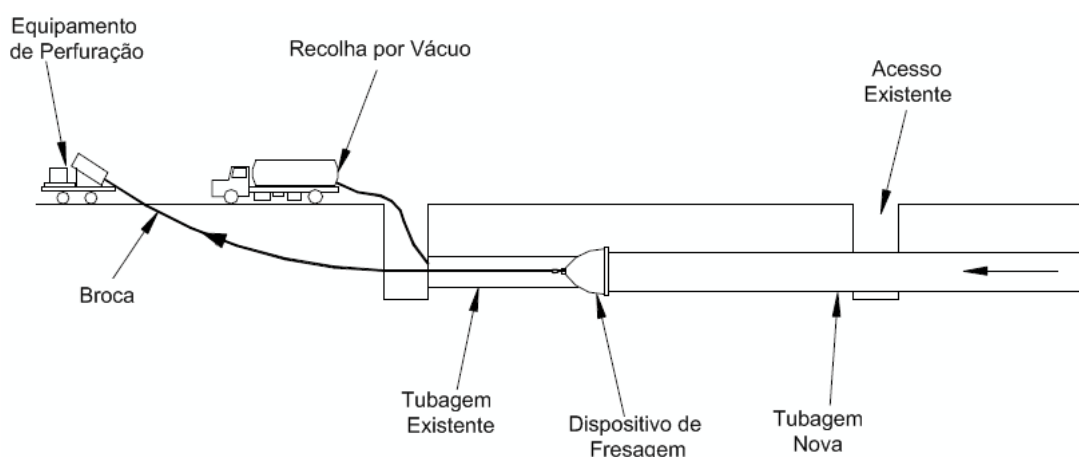


Fig. 53 - Fresagem de Tubagens [18]

## 5.7. EXTRACÇÃO E EJECCÃO DE TUBAGENS (“PIPE EJECTION/EXTRACTION”)

Nos sistemas de substituição de tubagens por ejeccção (Cravação de Tubagem Alterada) ou extracção (Rebentamento Estático Alterado), a infra-estrutura existente é removida integralmente sem sofrer qualquer destruição propositada. Esta é arrastada até aos locais de acesso onde pode ser destruída, ou simplesmente recolhida. Estes processos são aplicáveis a tubagens com capacidade de resistir aos impulsos de tracção e compressão. As secções a substituir são de comprimentos reduzidos de forma a evitar que se gerem forças de atrito tais, que impeçam a retirada da tubagem.

Na ejeccção de tubagens recorre-se a uma plataforma semelhante à utilizada para a cravação de tubagens, onde a nova tubagem é inserida por troços que deslizam nessa plataforma e empurram a tubagem existente. Em simultâneo, a tubagem é puxada por um sistema de tracção semelhante ao utilizado no rebentamento de tubagens. A combinação destes dois efeitos faz com que a conduta existente seja removida até um local acessível.

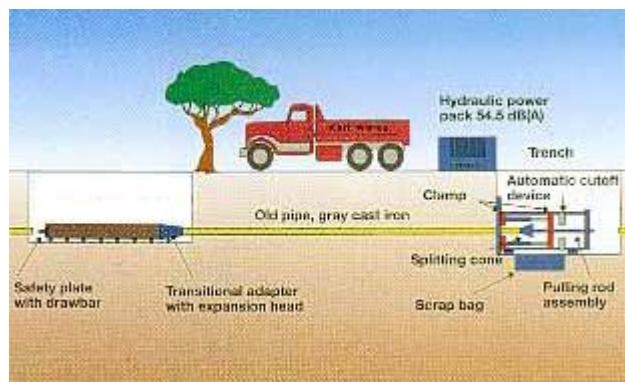


Fig. 54 - Ejeção de Tubagem [17]

Na técnica de extracção de tubagens, o tubo existente é empurrando enquanto a nova tubagem é arrastada em simultâneo. Como já foi referido, funciona de modo idêntico ao rebentamento estático, na qual o equipamento de activação hidráulica transmite uma força de tracção a um conjunto de varas (ou cabo de aço), que por sua vez está ligado a uma cabeça que percorre a tubagem existente. A Fig. 55 esquematiza o equipamento utilizado na extracção de tubagens, nomeadamente um pormenor do dispositivo que empurra e tracciona as tubagens.

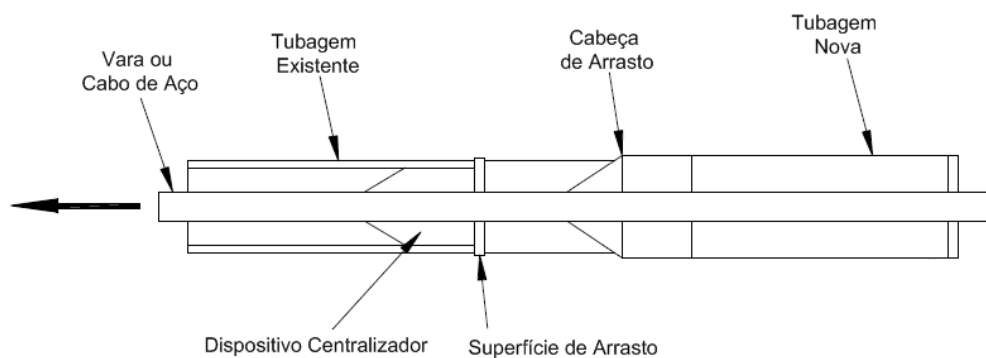


Fig. 55 - Extracção de Tubagens [18]



## 6

## ESTUDO DE CASO

### 6.1. INTRODUÇÃO

Neste Capítulo será abordado um caso real de reabilitação de condutas sem abertura de vala, onde será exposto o processo de selecção, quais as operações estabelecidas para o levantamento das infra-estruturas existentes e a sua posição. Exposição das condicionantes locais e de projecto estabelecidas no Caderno de Encargos, bem como, das medidas de fornecimento temporário de água, procedimentos e materiais empregues.

### 6.2. DESCRIÇÃO GERAL

A obra em questão trata-se da “Empreitada de Renovação da Rede de Distribuição de Água a Lisboa, Projecto N° 2008/PRR/71.3 – Avenida Estados Unidos da América e outras” para a EPAL, S.A.. Sendo o executante o Empreiteiro de Obras Públicas Camilo de Sousa Mota e Filhos, S.A..



Fig. 56 - Planta de Localização

A obra em questão situa-se em Lisboa, na freguesia de Alvalade, mais especificamente na área delimitada pela Avenida Estados Unidos da América, Avenida de Roma e Avenida da República. Toda a zona de obra é urbanizada, apresentando um intenso tráfego rodoviário nas artérias que a delimitam. Estes dois factores condicionarão os ritmos de trabalhos, bem como, obrigarão à implementação de medidas especiais na execução dos trabalhos, quer em termos de segurança para as pessoas que circulem na via, quer na regulação da circulação automóvel, para além dos riscos associados a estes trabalhos.

A Empreitada apresenta uma extensão de 6941 metros de condutas a instalar em PEAD com uma gama de diâmetros de 110mm, 160mm, 200mm, e 315mm. Para além disso, inclui também a instalação de:

- Órgãos de manobra tais como, válvulas de seccionamento, válvulas de descarga de fundo, válvulas de tomada em carga.
- Acessórios e tubagem para ligação dos ramais domiciliários
- Marcos de água para combate a incêndios.
- Medidores de caudais

A tubagem existente predominante é em ferro fundido cinzento (cerca de 60,70 %) e o restante em fibrocimento (com cerca de 37,72 %), existindo pontualmente tubagens em ferro fundido dúctil (cerca de 0,64 %) e 0,94 % tubagem a instalar não existindo ainda outra tubagem. A Tabela 11 sintetiza a rede existente e a instalar, por diâmetros, material e extensão.

Tabela 11 - Tubagens Existentes e a Instalar

Material Existente	DN Existente (mm)	DN a Instalar (mm)	Extensão (m)	%
Fibrocimento	100	110	170	37,72%
	100	160	395	
	100	200	9	
	125	110	83	
	125	160	527	
	150	160	761	
	300	315	600	
Ferro Fundido	80	160	67	60,70%
	100	110	644	
	100	160	1112	
	125	160	1718	
	125	200	61	
	200	200	126	
	300	315	354	
Ferro Fundido Dúctil	400	315	14	0,64%
	125	160	30	
	150	160	13	0,94%
	-	160	63	

Como se verifica pela tabela, as tubagens a instalar são, por norma, de diâmetro superior ao das tubagens existentes, existindo casos pontuais de redução ou manutenção do diâmetro. De referir que nos casos das tubagens existentes em ferro fundido, ferro fundido dúctil e fibrocimento, o diâmetro nominal é a medida do diâmetro interior da tubagem, enquanto no caso da tubagem a instalar, em tubagens de PEAD, o diâmetro nominal é a dimensão exterior da tubagem.

As tubagens existentes situam-se, geralmente nos passeios dos arruamentos, com pequenas excepções em que o passeio não tem largura suficiente e então situam-se nas faixas de rodagem ou no caso de travessias. Os ramais domiciliários são, por norma, perpendiculares à tubagem existente, bem como os ramais para as bocas-de-incêndio.

### **6.3. SELECÇÃO DA TÉCNICA DE REABILITAÇÃO**

Por imposição do Caderno de Encargos referente à obra em questão, as técnicas de reabilitação que podem ser aplicadas na obra em questão são Entubamento ou Rebentamento Estático.

Então a selecção da técnica possível fica limitada, pois como mostra a Tabela 11 o propósito é o aumento generalizado do diâmetro da tubagem, existindo apenas uma situação de redução de diâmetro, em que o existente de 400 mm em ferro fundido passa para 315 mm em polietileno. Sendo assim, os troços onde se intervirá com uma técnica de reabilitação serão instalados recorrendo ao rebentamento estático.

### **6.4. TROÇOS POSSÍVEIS DE REBENTAMENTO**

Após selecção da técnica, definiu-se quais os troços de rede em que se procederia ao rebentamento da conduta e os restantes em que se instalaria a conduta em vala aberta.

Numa primeira análise identificou-se qual o comprimento mínimo de cada troço de forma a ser viável o rebentamento da conduta. Como esta técnica necessita da abertura de dois poços nas extremidades do troço, um para a unidade de rebentamento com dimensões reduzidas e outro para a introdução da tubagem de dimensões consideráveis para que respeite o raio mínimo de curvatura permitido para o material em questão. Resulta que para um comprimento inferior a 36 metros, ou seja, três varas de 12 metros não será favorável o rebentamento da conduta.

Outro factor decisivo é a cadência de ramais ou outros órgãos da rede, isto é, o espaçamento entre estes. Se a distância entre dois troços consecutivos for reduzida deixando uma curta faixa em que não se abre vala, então não será compensatório instalar a conduta por rebentamento.

Outro factor limitativo será a capacidade de rebentamento do equipamento e a possibilidade de descrever curvaturas. Como demonstrado no capítulo 5, os equipamentos de rebentamento impõem a utilização de um conjunto de varas ou um cabo em aço para arrasto das cabeças e do tubo. No caso de estudo em questão existem troços curvilíneos que devido ao material existente não podem ser rebentados utilizando o equipamento com o cabo de aço, restando a solução de utilização do equipamento de varas. Este também tem limitações quer ao nível de rebentamento de tubagens acima dos 300mm em ferro fundido, contudo não existindo uma confirmação dessa impossibilidade. Para tal, seria necessário realizar um estudo ao real estado da tubagem recorrendo a ensaio para aferir a actual capacidade resistente do material.

## 6.5. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO

No âmbito do trabalho realizado, a concepção da rede em questão não tem um interesse de maior, sendo sim, as questões relacionadas com a técnica e processo de execução as reais condicionantes, sendo:

- Recobrimento – distância entre a geratriz superior da tubagem e a superfície (Fig. 57).
- Força de Tracção Máxima

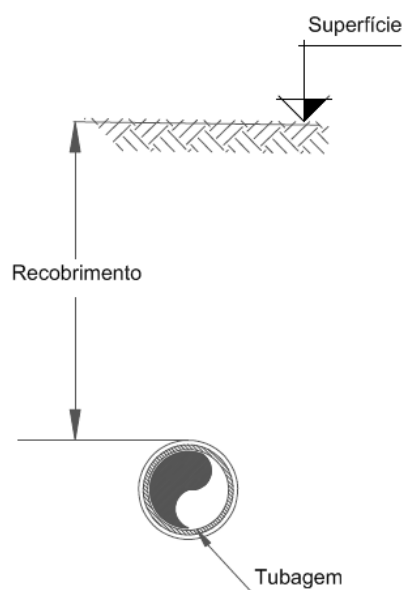


Fig. 57 – Recobrimento

Contudo na realização do presente trabalho não foi possível estabelecer qualquer método determinístico que pudesse definir com precisão e justificação física, qual a profundidade mínima para poder realizar o aumento de diâmetros. O mesmo ocorre com a força de tracção necessária para que rebente com o material existente e que consiga comprimir o solo circundante.

Tendo somente sido encontrada a referência de duas fórmulas de cálculo do recobrimento mínimo e força de tracção, que aparentam ser demasiado simples para aplicação, ignorando diversas variáveis tais como, o material da tubagem existente, características do solo em questão, etc.[19]

$$Recobrimento_{mínimo} (mm) = C_E \times 10$$

$$C_E = DECE - DETE$$

Em que:

- $C_E$  é o coeficiente de expansão.
- DECE é o diâmetro externo da cabeça expansora (mm).
- DETE é o diâmetro externo da tubagem existente (mm).



$$Força_{tracção}(ton) = \frac{ASECE - AESTE}{\frac{12}{100}}$$

Em que:

- AESCE é a área da secção externa da cabeça expansora (mm<sup>2</sup>).
- AESTE é a área da secção externa da tubagem existente (mm<sup>2</sup>).
- 12 é um coeficiente empírico.

Aplicando essas mesmas fórmulas aos dados existentes, obtém-se a Tabela 12.

Tabela 12 - Recobrimento mínimo e Força de tracção

Material Existente	DN Existente (mm)	DN a Instalar (mm)	Recobrimento mínimo (mm)	Força de tracção (ton)
Fibrocimento	100	110	225	4
	100	160	850	18
	100	200	1350	32
	125	110	-	-
	125	160	563	13
	150	160	275	7
	300	315	488	24
FF	80	160	1100	21
	100	110	250	4
	100	160	875	18
	125	160	594	13
	125	200	1094	28
	200	200	250	8
	300	315	563	27
	400	315	-	-
FFd	125	160	625	14
	150	160	350	8
-	-	160	-	-

Para além dos resultados não aparentarem ser desadequados, existe uma grande reserva acerca da aplicabilidade das fórmulas propostas. Contudo através do cruzamento de informação entre experiências já decorridas, quer por fornecedores de equipamentos, quer por entidades executantes, o equipamento adequado deverá ter como capacidade máxima de tracção de 50 toneladas. Para além disso, com o recobrimento mínimo esperado de cerca de 0,90 m, o imposto regulamentarmente, não ocorrerá qualquer dano, isto é, não se verificará qualquer empolamento na superfície.

## 6.6. TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURAS

Sendo o rebentamento uma técnica destrutiva que utiliza cabeças com dimensões superiores às das tubagens, é essencial, tanto por motivos de segurança e por motivos económicos, que se estabeleça um perímetro onde a cabeça pode passar, e levantar as infra-estruturas que podem ser afectadas por esta.

Como já mencionado neste trabalho, esta fase inicia-se pelo levantamento das infra-estruturas existentes. Contudo, e também já referido, uma das falhas existentes nas entidades gestoras dos serviços, é a falta de um cadastro actualizado de toda rede, onde constem todos os elementos relativos à tubagem (diâmetro, material, tipo de junta), bem como todos órgãos acessórios e outros singularidades (reparações, etc.) e sua posição exacta.

Não existindo cadastros actualizados, procedeu-se a uma visita ao local, que consistia no levantamento dos elementos à superfície que permitem identificar qual a posição e alinhamento das infra-estruturas existentes. Através dos elementos que possibilitam a manutenção das redes (tampas de caixas de visita, tampas de caixas de válvulas, cabeças moveis, etc.), foi possível identificar-se os vários serviços existentes e distanciamentos entre estes

Para complementar esta técnica será ainda levantada toda a rede existente recorrendo a um Geo-radar, fazendo passagens transversais, com um espaçamento de 6 m, que permitirá o levantamento dos perfis transversais, onde constará quais as infra-estruturas existentes, bem como o tipo de material e profundidade a que se encontram. À medida que se realizam as passagens com o Geo-radar marcar-se-á no pavimento com tinta lavável os vários serviços existentes. Isto auxiliará na execução da instalação, particularmente nas escavações para a colocação do equipamento de rebentamento.

## 6.7. PROCEDIMENTO

Os trabalhos iniciam-se pela instalação da rede provisória de abastecimento domiciliário, que será abordada com maior pormenor na secção seguinte.

Antes da instalação da conduta é necessário abrir todos os ramais domiciliários existentes, ou se necessário, novos ramais ou órgãos de manobra a instalar. Estes roços podem servir como uma forma de acesso ao que está a decorrer, permitindo a visualização de qualquer anomalia decorrente do arrasto do tubo, tais como: juntas de ligação que não foram devidamente cortadas pela lâmina, acessórios de reparações em aço inox.

De seguida são abertos os poços de ataque, um para instalação da unidade de rebentamento, outro para a introdução da nova tubagem. O poço de ataque para a unidade de rebentamento terá que ter em planta uma dimensão de 0,7 m de largura e 2 m de comprimento para permitir que as varas sejam inicialmente introduzidas e retiradas enquanto se instala a nova tubagem. Quanto à dimensão do poço de ataque para a entrada da tubagem, em largura pode ser a largura da vala tipo que é 0,65 m, quanto ao comprimento este varia com o diâmetro em questão e com a profundidade da tubagem existente, contudo prevê-se que estes apresentem entre 5 a 6 m de comprimento.

A tubagem é previamente soldada em troços com 3 a 4 varas (36 a 48 m), consoante as limitações existentes, e à medida que vão sendo puxadas são ligadas por soldadura topo a topo.

Assim que a tubagem se encontre no poço de ataque da unidade de rebentamento, todas as cabeças são retiradas e um pequeno troço inicial (aproximadamente 0,60m) é retirado de forma a prevenir que qualquer dano que possa ter sofrido na ligação com a cabeça de arrasto possa criar um zona susceptível a falha.

Após instalada toda a conduta procede-se aos trabalhos normais de ligação dos órgãos acessórios, comum ao método tradicional. Assim que os acessórios estejam instalados, a conduta é colocada em carga e ensaiada. No final procede-se à lavagem e desinfecção das tubagens, recolhendo-se amostras para análise em laboratório.

Assim que o resultado da análise permita, os ramais domiciliários definitivos são ligados e desactiva-se a rede provisória.

## 6.8. REDE PROVISÓRIA

Para o abastecimento provisório será instalada uma tubagem flexível em polietileno com diâmetro nominal de 50 mm, instalada à superfície, junto às fachadas dos prédios existentes sempre que possível. Os pontos de ligação serão feitos em locais onde não se intervenha, tais como, boca ou marcos de incêndio já existentes e a manter. Preferivelmente a admissão da água será estabelecida em ambas as extremidades da tubagem. Estando estabelecido um limite máximo de 250 m para uma tubagem independente, alimentada numa única extremidade. Este limite previne que para períodos de maior consumo se gerem grandes perdas de carga e diminua a qualidade do serviço.

Como a tubagem será instalada à superfície, estará susceptível a grandes variações térmicas e subsequente aumento e diminuição no seu tamanho. Por tal, aplicar-se-á “liras” em intervalos de 50 m em zona corrente, e 25 m para o ponto de ligação de água. As “liras” como mostra a Fig. 58, é um elemento que permite que a tubagem sofra variações de tamanho, contudo esta permanecerá o mais próximo possível às fachadas dos edifícios.

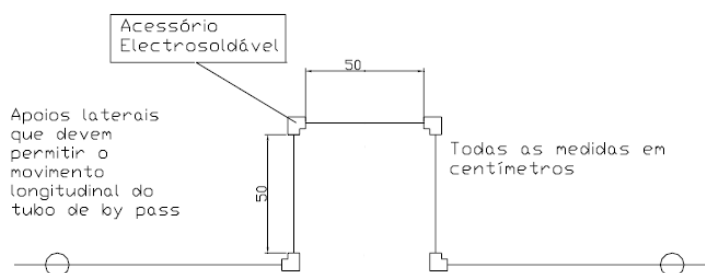


Fig. 58 – Lira



## 7

## CONCLUSÃO

### 7.1 CONCLUSÕES GERAIS

Neste capítulo são enumerados os principais resultados da pesquisa efectuada e apresentadas as conclusões retiradas da elaboração do presente trabalho. O objectivo principal era a apresentação e descrição das técnicas de reabilitação de infra-estruturas sem abertura de vala, bem como, de todo o processo anexo a estas, como a selecção de redes com prioridade de intervenção, técnicas de avaliação do estado das mesmas, trabalhos preparatórios de levantamento de infra-estruturas, caracterização dos materiais utilizados e por fim aplicação do processo na íntegra a um caso real.

No segundo capítulo concluiu-se que estes métodos requerem um grande trabalho inicial, e isso, implicam um investimento significativo por parte da entidade gestora antes do lançamento a concurso das empreitadas. Este facto não é favorável ao actual processo de execução deste tipo de empreitadas. Por norma, e devido essencialmente a questões económicas, não é comum realizar-se um estudo e inspecção ao estado das tubagens em que se possa avaliar o verdadeiro estado destas e então ter uma base para se poder seleccionar as técnicas de reabilitação sem abertura de valas possíveis de resolver os problemas existentes. Esta fase do processo, é usualmente transferida para o estado de execução, e para o lado do executante, que terá de analisar o estado das tubagens e propor então uma solução, se assim achar conveniente. E esta conveniência estará relacionada com possíveis benefícios que este possa ter, e do modo como irão ser obtidos esses benefícios.

Do capítulo 3, e no seguimento da conclusão anterior, verificou-se que estas técnicas envolvem um esforço grande quer a nível de trabalhos quer a nível económico, sem que se tenha uma solução já estabelecida, ou seja, não estando uma solução pré-definida não é possível determinar qual os custos que esta irá ter, e então todo este investimento prévio poderá não induzir qualquer proveito se no final se concluir que a única solução é mesmo a aplicação do método tradicional, ou seja, com abertura de vala aberta. Esta incerteza pode ser um dos grandes entraves para a aplicação destas técnicas.

Nos capítulos 4 e 5, as conclusões são idênticas a ambos os capítulos. Existe uma multiplicidade de soluções, equipamentos e métodos que conseguem resolver a maioria dos actuais problemas a nível das infra-estruturas enterradas. É possível concluir que estas técnicas são ambientalmente mais correctas em comparação com os métodos tradicionais e isso está inclusivamente estabelecido no Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP).

Para além da minimização dos impactos ambientais e sociais, as técnicas sem abertura de vala reduzem o movimento de terras, minimizando a quantidade de material necessário para aterro, bem como, a quantidade de produtos remanescentes da escavação que terão que ser encaminhados para vazadouros licenciados. Adicionalmente, reduzem também o levantamento e reposição de pavimentos

que, em geral, ficam fragilizados e susceptíveis a um aceleração na sua deterioração no local da vala.

Com estas técnicas, o risco de possíveis acidentes também é reduzido, visto existirem menos locais à superfície que possam pôr em risco a segurança quer para os trabalhadores, quer para as pessoas externas à intervenção

Contudo, e para além de serem técnicas aparentemente simples, requerem um conhecimento (know-how) de todos os intervenientes neste processo o que ainda não está adequadamente estabelecido no caso nacional. Concluiu-se então que ainda existe um grande caminho a ser percorrido e a transferência do conhecimento de outros países para o caso nacional deve ser tomada com grande prudência e consciência que cada caso é único, e cada país tem a sua forma de actuar.

Relativamente ao caso de estudo, haveria muito por se concluir com o acompanhamento dos trabalhos. Contudo e devido a atrasos sucessivos, a empreitada em questão ainda não começou, limitando as conclusões retiradas. Assim sendo, o que se pode retirar até ao estado actual do caso de estudo, é que numa zona urbana, com grande tráfego, a aplicação do rebentamento para a instalação de novas condutas irá minimizar todos os constrangimentos criados à sociedade, diminuindo os custos não contabilizados e imputados à sociedade que é basicamente a redução da qualidade de vida.

Em suma, este trabalho pretendeu através de uma observação técnica, expor todo o processo de reabilitação de infra-estruturas enterradas, não só da técnica em particular, mas de todos os trabalhos que este acarreta, e então compreender a complexidade e as condicionantes que estas englobam. Para além disso, este trabalho pretendeu sensibilizar e apresentar técnicas que podem ser uma forma mais sustentável de manutenção das infra-estruturas existentes.

## **7.2. DIFICULDADES SENTIDAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

No decorrer do presente trabalho a maior dificuldade sentida foi a falta de material científico. Em outros países existem várias publicações acerca destas tecnologias sem abertura de vala, contudo no caso nacional sente-se uma lacuna de material físico credível. Esta dificuldade levou a que este trabalho estivesse muito dependente de publicações e informações disponíveis em sítios de internet com uma intenção mais publicitária que científica.

Outra dificuldade sentida foi a falta de experiência. Os objectivos propostos impuseram o desafio e a necessidade de compreensão de todo o sector dos sistemas de abastecimento e drenagem de águas, bem como do processo construtivo, quer pelos métodos tradicionais, quer pelos métodos sem abertura de vala.

A necessidade de traduzir e ajustar as designações anglo-saxónicas revelou-se um grande desafio e simultaneamente uma dificuldade, e como se compreende no meio científico não é claro adequar termos que por vezes não têm uma correspondência directa para outra língua.

## **7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Foram descritas técnicas que ainda estão em fase embrionária no panorama nacional, podendo então os desenvolvimentos futuros ser imensos, contudo de seguida enumeram-se aqueles que nesta fase parecem ser os mais pertinentes:

- Estabelecimento de uma nomenclatura clara e que unifique as designações utilizadas.

- Desenvolvimento de estudos científicos que permitam definir quais as variáveis de cada método e assim conceber e projectar soluções que tenham por base as técnicas de reabilitação de condutas sem abertura de valas
- Avaliação da perda ou ganho da capacidade de transporte devido à redução ou aumento da secção ou devido à mudança de material e consequentemente da rugosidade do material.
- Avaliação dos Impactos Ambientais e Sociais, que atestem o benefício que estas soluções podem trazer, que são por exemplo: redução de poeiras no ar; redução do nível de ruído; redução dos consumíveis em obra (combustível dos equipamentos); etc..
- Estudo de avaliação de custos para cada solução, método tradicional ou método sem abertura de vala, bem como determinação dos rendimentos de produção obtidos.
- Estabelecimento de regulamentação aplicada ao caso nacional.
- Desenvolvimento de cada uma das técnicas em particular, estabelecendo os critérios de dimensionamento, testes e ensaios necessárias.
- Desenvolvimento de plataformas informáticas que auxiliem todo o processo.

Para que todas as sugestões de trabalhos futuros acima enumeradas possam melhor auxiliar a introdução/adequação destas técnicas, deveram ser apoiados/complementados com situações reais, sendo a intervenção das entidades detentores e executantes deste tipo de infra-estrutura da maior importância para a recolha e validação de informação.



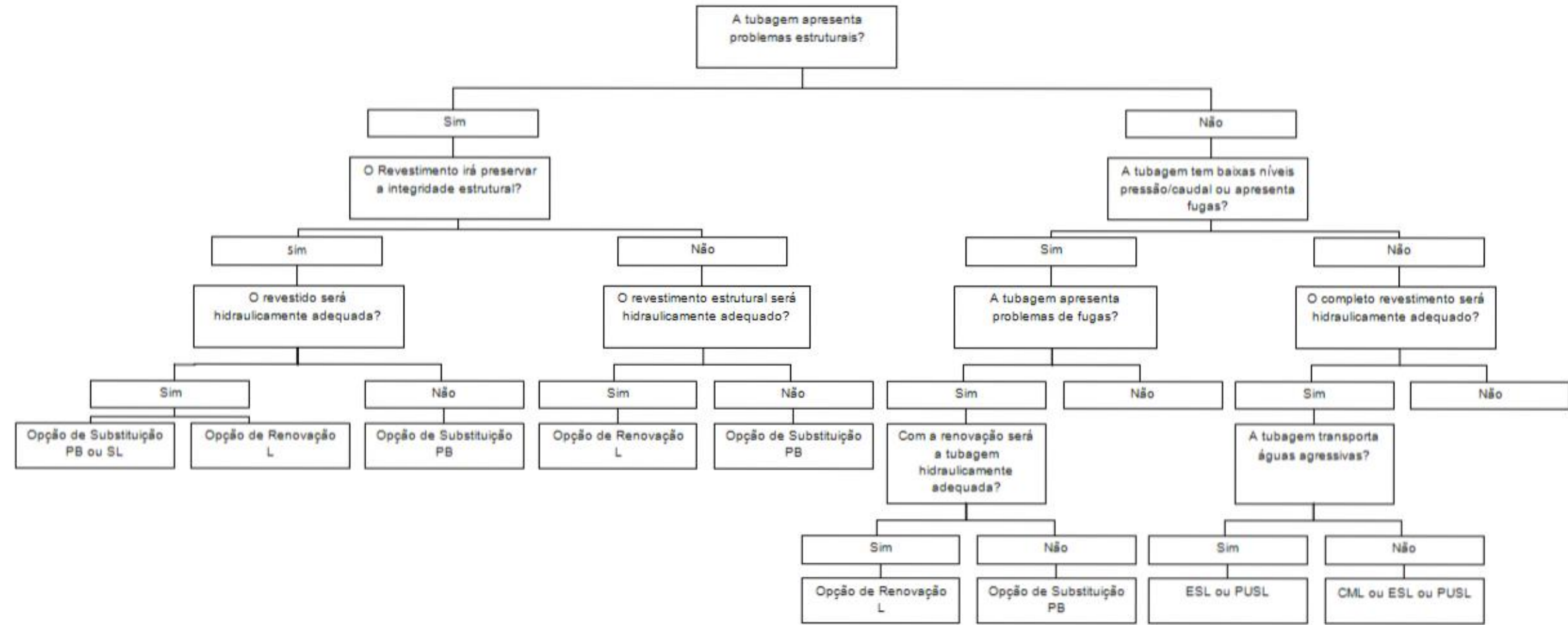


## REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PEAASAR.pdf> , dia 25 de Maio de 2009
- [2] [http://www.istt.com/doks/pdf/TRC\\_Sec1-Guidelines\\_11063.pdf](http://www.istt.com/doks/pdf/TRC_Sec1-Guidelines_11063.pdf), dia 16 de Março de 2009
- [3] [http://www.istt.com/doks/pdf/TRC\\_Sec2-Guidelines\\_1106\\_ro.pdf](http://www.istt.com/doks/pdf/TRC_Sec2-Guidelines_1106_ro.pdf), dia 16 de Março de 2009
- [4] [http://www.surveyequipment.com/shop/index.php?main\\_page=index&cPath=22](http://www.surveyequipment.com/shop/index.php?main_page=index&cPath=22), dia 15 de Abril de 2009
- [5] [http://www.accessdetection.com.au/index.php?module=pipe\\_and\\_cable\\_locators&section=professional\\_locators](http://www.accessdetection.com.au/index.php?module=pipe_and_cable_locators&section=professional_locators), 15 de Abril de 2009
- [6] [http://www.istt.com/doks/pdf/TRC\\_Sec5-Guidelines\\_12061.pdf](http://www.istt.com/doks/pdf/TRC_Sec5-Guidelines_12061.pdf), dia 16 de Março de 2009
- [7] Brochier (1996). Reparação e reabilitação subterrânea de condutas..
- [8] [http://www.subterra.co.uk/epoxy\\_resin\\_spray\\_lining.html](http://www.subterra.co.uk/epoxy_resin_spray_lining.html) , dia 20 de Abril de 2009
- [9] <http://www.pipe-equipment.co.uk/Products-TH.htm>, 11 de Maio de 2009
- [10] <http://www.undergroundolutions.com/sliplining.php>, 13 Maio de 2009
- [11] [http://www.sekisui-spr.com/public/spr\\_us/us/technology/spr/spr\\_pe.html](http://www.sekisui-spr.com/public/spr_us/us/technology/spr/spr_pe.html), 13 de Maio de 2009
- [12] <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/dib/dib83-01-6.htm>, 20 de Maio de 2009
- [13] <http://www.istt.com/doks/pdf/UNEP.pdf>, dia 16 de Março de 2009
- [14] <http://www.tt-uk.co.uk/s4-grundomat-pipe-laying-and-renewal-systems.html>, 25 de Março de 2009
- [15] [http://www.alibaba.com/product/ozkanlarmachinery-11379180-10886185/OYS\\_Series\\_Horizontal\\_Thrust\\_Boring\\_Machines.html](http://www.alibaba.com/product/ozkanlarmachinery-11379180-10886185/OYS_Series_Horizontal_Thrust_Boring_Machines.html), 20 de Maio de 2009
- [16] <http://www.projectsmonitor.com/ORDCONTRACT/krita-wins-major-micro-tunnelling-contract>, 25 de Maio de 2009
- [17] [http://www.istt.com/doks/pdf/TRC\\_Sec4-Guidelines\\_12061.pdf](http://www.istt.com/doks/pdf/TRC_Sec4-Guidelines_12061.pdf), 16 de Março de 2009
- [18] [http://www.ttc.latech.edu/publications/guidelines\\_pb\\_im\\_pr/bursting.pdf](http://www.ttc.latech.edu/publications/guidelines_pb_im_pr/bursting.pdf), 28 de Maio de 2009
- [19] Rosas, Hélio, *Substituição de Tubulação de Grandes Diâmetros*. Fevereiro de 2008, <http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/port/programacao.html>, 15 de Abril de 2009



ANEXOS

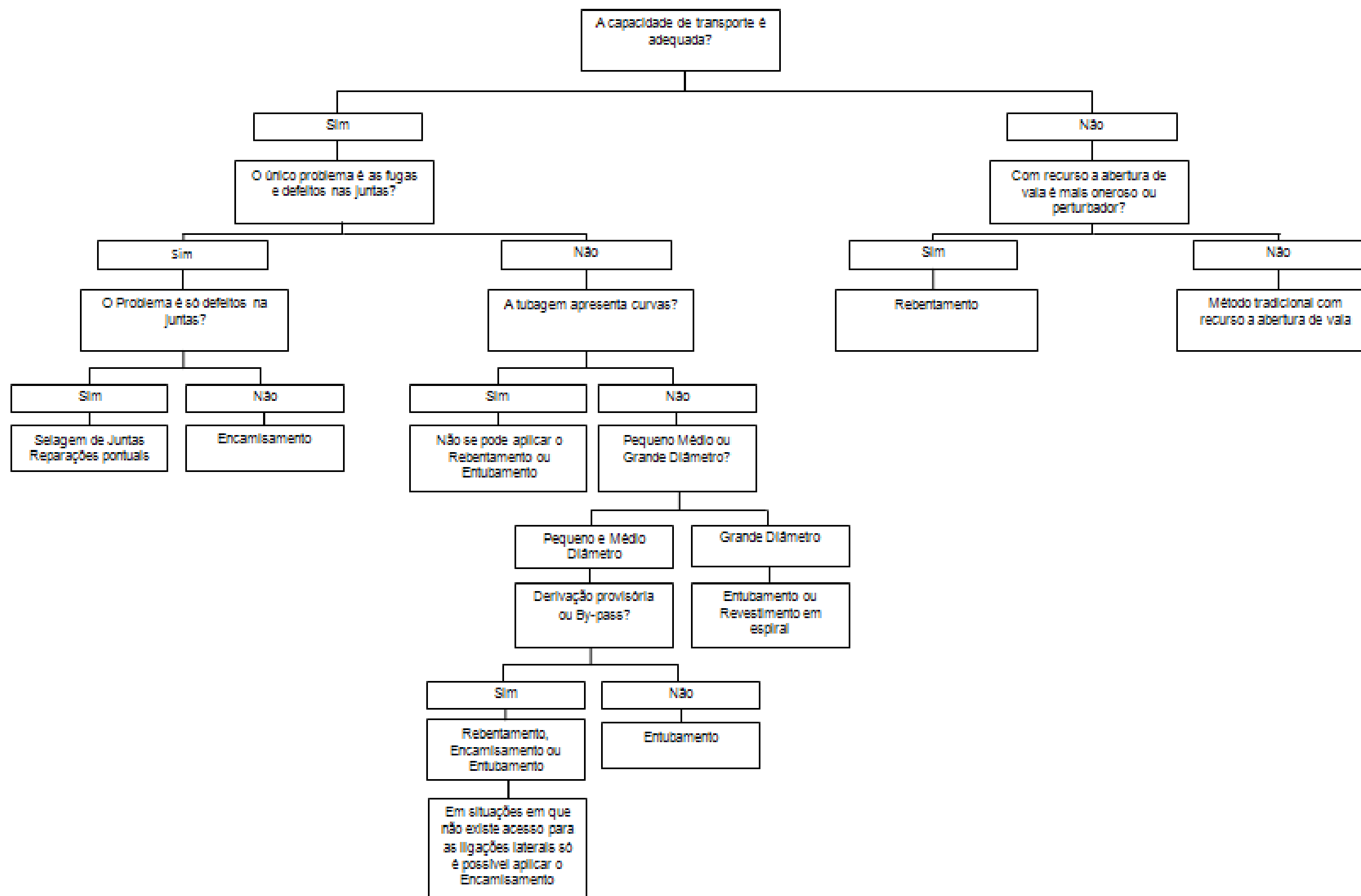


Anexo 1 - "Árvore de Decisão" para Sistemas de Abastecimento

Legenda:

- PB – Rebentamento (“Pipe Bursting”)
- SL – Entubamento (“Sliplining”)
- L – Encamisamento (“Lining”)
- CML – Revestimento com argamassa de cimento (“Cement Mortar Lining”)
- ESL – Revestimento com Resina de Epoxy (“Epoxy Spray Lining”)
- PUSL – Revestimento com Poliuretano (“Poliurethane Spray Lining”)





Anexo 2 - "Árvore de Decisão" para Sistemas de Drenagem